

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Das System der Umformtechnik | 2 |
| 1.2 | Der Werkstoff vor der Umformung | 2 |
| 1.2.1 | Übersicht | 2 |
| 1.2.2 | Versuche zur Beurteilung der Umformeignung | 4 |
| 1.2.3 | Erfassung von Oberflächeneigenschaften | 4 |
| 1.2.4 | Sonstige Prüfverfahren | 5 |
| 1.3 | Abschließende Bemerkungen zu Kapitel 1 | 6 |
| 1.4 | Literatur zu Kapitel 1 | 7 |
| 2 | Aufnahme von Fließkurven für die Massivumformung | 10 |
| 2.1 | Überblick, Grundbegriffe | 13 |
| 2.1.1 | Fließkurven von Einkristallen | 13 |
| 2.1.2 | Fließkurven vielkristalliner metallischer Werkstoffe | 14 |
| 2.1.2.1 | Korngrößeneinfluß | 14 |
| 2.1.2.2 | Fließkurven bei Raumtemperatur | 14 |
| 2.1.2.3 | Einfluß von Temperatur und Umformgeschwindigkeit | 15 |
| 2.2 | Zugversuch | 17 |
| 2.2.1 | Allgemeines | 17 |
| 2.2.2 | Zugversuch nach DIN 50145 | 17 |
| 2.2.3 | Verfahren nach Siebel und Schwaigerer | 18 |
| 2.2.4 | Ermittlung der Fließkurve aus Kennwerten im Zugversuch | 19 |
| 2.3 | Stauchversuch | 21 |
| 2.3.1 | Grundbegriffe | 21 |
| 2.3.2 | Einfluß der Reibung | 24 |
| 2.3.2.1 | Allgemeines | 24 |
| 2.3.2.2 | Überblick über die Ausführungsformen des Stauchversuchs | 25 |
| 2.3.3 | Diskontinuierlicher Stauchversuch | 28 |
| 2.3.4 | Rastegaev-Versuch | 28 |
| 2.3.4.1 | Zylinderstauchversuch mit konventioneller Schmierung | 28 |
| 2.3.4.2 | Prinzip des Rastegaev-Versuches | 29 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 2.3.4.3 | Optimale Geometrie von Rastegaev-Proben | 31 |
| 2.3.4.4 | Fehler beim Rastegaev-Versuch | 35 |
| 2.3.4.5 | Rastegaev-Versuch mit Messung der Durchmesserzunahme | 37 |
| 2.3.5 | Stauchen nichtzyndrischer Proben | 40 |
| 2.3.6 | Flachstauchversuch | 41 |
| 2.3.7 | Vorläufiger Vergleich der Ausführungsformen des Stauchversuches | 43 |
| 2.4 | Verdrehversuch | 48 |
| 2.4.1 | Grundbegriffe | 48 |
| 2.4.2 | Berechnung der Fließkurve aus den Meßdaten | 49 |
| 2.4.3 | Auswirkung des Fließkriteriums | 52 |
| 2.5 | Aufnahme von Warmfließkurven | 54 |
| 2.5.1 | Allgemeine Bedingungen | 54 |
| 2.5.2 | Warmzugversuch | 57 |
| 2.5.3 | Warmstauchversuch | 57 |
| 2.5.4 | Warmtorsionsversuch | 60 |
| 2.6 | Weitere Prüfverfahren | 62 |
| 2.6.1 | Überblick | 62 |
| 2.6.2 | Prüfverfahren bei extremer Umformgeschwindigkeit | 62 |
| 2.6.3 | Prüfverfahren bei überlagerter hydrostatischer Druckspannung | 65 |
| 2.6.4 | Eindringverfahren | 66 |
| 2.6.5 | Prüfung ungewöhnlicher Werkstoffe | 67 |
| 2.7 | Kritischer Vergleich der Methoden | 69 |
| 2.7.1 | Überblick | 69 |
| 2.7.3 | Die drei Grundversuche | 70 |
| 2.7.2.1 | Systematische Fehlereinflüsse | 70 |
| 2.7.2.2 | Weitere Beurteilungskriterien | 76 |
| 2.7.3 | Zu den Sonderprüfverfahren | 79 |
| 2.8 | Literatur zu Kapitel 2 | 80 |
| 3 | Aufnahme der Fließkurven von Blechwerkstoffen | 88 |
| 3.1 | Zur Besonderheit von Blechwerkstoffen | 89 |
| 3.2 | Flachzugversuch | 90 |
| 3.3 | Versuche mit ebener Formänderung | 95 |
| 3.3.1 | Flachzugversuch mit behinderter Querkontraktion | 95 |
| 3.3.2 | Biegeversuch | 96 |
| 3.3.3 | Flachstauchversuch | 96 |
| 3.4 | Hydraulischer Tiefungsversuch | 96 |
| 3.5 | Ebener Torsionsversuch | 97 |
| 3.5.1 | Prinzip des Versuches | 97 |
| 3.5.2 | Versuchsauswertung | 100 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.5.3 | Auswirkung der Wahl des Fließkriteriums | 104 |
| 3.5.4 | Anwendungsgrenzen | 106 |
| 3.6 | Einfluß der Umformgeschwindigkeit und der Temperatur | 107 |
| 3.7 | Vergleich der Methoden | 108 |
| 3.8 | Gegenüberstellung der Prüfverfahren für Bleche mit denen für massives Probematerial | 110 |
| 3.9 | Richtungsabhängigkeit | 111 |
| 3.9.1 | Überblick | 111 |
| 3.9.2 | Bestimmung des r-Wertes von Blechwerkstoffen | 114 |
| 3.10 | Literatur zu Kapitel 3 | 117 |
| 4 | Zur Übertragbarkeit der Ergebnisse | 121 |
| 4.1 | Problemstellung | 121 |
| 4.2 | Unsicherheit experimentell bestimmter Fließkurven | 121 |
| 4.2.1 | Meßfehler und angenommenes Fließkriterium | 121 |
| 4.2.2 | Zur Probenahme | 122 |
| 4.2.2.1 | Lage und Anzahl der Proben | 122 |
| 4.2.2.2 | Größeneinfluß | 123 |
| 4.3 | Abschätzung von Fließkurven ohne experimentelle Bestimmung | 127 |
| 4.4 | Literatur zu Kapitel 4 | 128 |
| 5 | Bestimmung der Grenzen der Umformung | 130 |
| 5.1 | Begriffe | 131 |
| 5.2 | Der Begriff "Zähigkeit" oder "Duktilität" | 134 |
| 5.2.1 | Überblick | 134 |
| 5.2.2 | Zugversuch an gekerbten Blechproben (Kerbzugversuch) | 135 |
| 5.3 | Grenzformänderung | 138 |
| 5.3.1 | Allgemeines | 138 |
| 5.3.2 | Grenzformänderung in der Massivumformung | 139 |
| 5.3.3 | Grenzformänderung in der Blechumformung | 140 |
| 5.3.3.1 | Vorbemerkung | 140 |
| 5.3.3.2 | Tiefungsversuche mit streifenförmigen Platten | 140 |
| 5.3.3.3 | Kreisförmige, an den Seiten ausgeschnittene Platten | 142 |
| 5.3.4 | Vergleich der Methoden | 142 |
| 5.3.5 | Beurteilung des Grenzformänderungsschaubildes | 143 |
| 5.4 | Verfahrensbezogene Prüfmethoden | 144 |
| 5.4.1 | Vorbemerkung | 144 |
| 5.4.2 | Prüfmethoden für Verfahren der Massivumformung | 144 |
| 5.4.3 | Prüfmethoden für Verfahren der Blechumformung | 145 |
| 5.4.3.1 | Allgemeines | 145 |
| 5.4.3.2 | Streckzieh-Prüfverfahren | 146 |

| | | |
|---------------------|---|-----|
| 5.4.3.3 | Tiefzieh-Prüfverfahren | 148 |
| 5.4.3.4 | Biegeprüfung | 151 |
| 5.4.3.5 | Gesenkbiegeversuch und Alterungsprüfung | 152 |
| 5.4.3.6 | Kombination verschiedener nachahmender Prüfmethoden | 153 |
| 5.5 | Literatur zu Kapitel 5 | 154 |
| 6 | Werkstoff und Werkstück nach der Umformung | 158 |
| 6.1 | Überblick | 158 |
| 6.2 | Weiterverarbeitungseigenschaften | 160 |
| 6.3 | Eigenschaften des homogen umgeformten Werkstoffes | 163 |
| 6.4 | Eigenschaften des umgeformten Werkstückes | 164 |
| 6.4.1 | Stoffflußuntersuchungen und Formänderungsanalyse | 164 |
| 6.4.2 | Messungen der Härteverteilung | 165 |
| 6.4.3 | Bestimmung von Eigenspannungen 1. Art | 168 |
| 6.4.4 | Ermittlung von Gebrauchseigenschaften | 169 |
| 6.4.4.1 | Überblick | 169 |
| 6.4.4.2 | Schwingprüfung | 170 |
| 6.4.4.3 | Korrosionsprüfung | 174 |
| 6.4.4.4 | Schlußbemerkung | 178 |
| 6.5 | Literatur zu Kapitel 6 | 178 |
| Anhang A: | Zur Theorie und Praxis der Torsionsversuche | 182 |
| A.1 | Torsionsversuch am Rundstab | 183 |
| A.1.1 | Ermittlung der "nullten Näherung" | 183 |
| A.1.2 | Taylorentwicklung der "Korrekturfunktion" | 184 |
| A.1.3 | Verwendung extrem kurzer Versuchsproben | 186 |
| A.1.4 | Zur zweckmäßigen Probengeometrie | 191 |
| A.1.5 | Mögliche Fehlerquellen | 193 |
| A.1.6 | Zur Erfassung des Geschwindigkeitseinflusses | 193 |
| A.2 | Ebener Torsionsversuch | 194 |
| A.3 | Literatur zu Anhang A | 196 |
| Anhang B: | Normen und Richtlinien | 197 |
| Sachwortverzeichnis | | 202 |