

金属与合金的 塑性变形抗力

〈手册〉

机械工业出版社

金属与合金的塑性变形抗力

〔手 册〕

〔苏〕П. И. 波卢欣 Г. Я. 贡 А. М. 加尔金 著

林 治 平 译

机 械 工 业 出 版 社

手册中列举了钢、有色金属与合金在各种金属压力加工条件下的变形抗力、强度特性和塑性特性的系统资料。概述了短时机械试验方法,描述了试验数据的数学处理法和金属与合金变形流变学的理论基础。

书中有插图528幅,表格148张,参考文献目录140种。

本书可供冶金和机器制造工厂、科研设计单位的科技人员使用,也可供高等院校大学生和研究生参考。

**Сопротивление
пластической
деформации металлов
и сплавов
Справочник
П. И. Полукин
Г. Я. Гун
А. М. Галкин
Москва
«Металлургия»
1976**

**金属与合金的塑性变形抗力
(手册)**

**〔苏〕П. И. 波卢欣 Г. Я. 贡 А. М. 加尔金 著
林治平 译**

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市房山县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $850 \times 11681/32$ · 印张 $15\frac{1}{4}$ · 字数 401千字
1984年2月北京第一版·1984年2月北京第一次印刷
印数: 0,001—9,600 · 定价: 4.00元

统一书号: 15033·4987

译 者 序

全书分两大部分。在第一部分，总结了近代有关金属塑性变形抗力和塑性的研究成果，列举了用解析法确定变形抗力和塑性的公式；扼要而系统地介绍了各种短时机械试验方法及现有短时试验用试验机的特性和分类，指出了常规试验机的缺点，概述了能在试验过程中保持等应变速度的凸轮塑性计的特点及其高温动力试验的方法；最后简述了机械试验结果的数学处理，提出了应用机械试验结果的前景和原则。在第二部分，编入 525 幅曲线图和 143 张表格，汇集了三百多种金属与合金在各种变形温度-速度条件下的变形抗力、强度特性和塑性特性的试验资料。

鉴于本书反映了近年来作者及许多其他学者在研究金属与合金的塑性变形抗力方面的最新成果和资料，将它译成中文，以供有关读者参阅。

为了读者查阅方便，译文在原书的“金属与合金索引”部分标注了我国常用的金属与合金的牌号。

全书译出后，经江西工学院锻压教研室杨淳朴、包忠诤、何成宏等同志作了校订，谨在此表示感谢。

由于译者水平有限，译文中如有错误和不当之处，希望读者指正。

序 言[⊖]

为了解决金属压力加工的理论 and 实践问题，必须有金属与合金在宽的变形温度-速度条件范围内的变形抗力和塑性的可靠试验资料。按С. И. 古布金的意见〔7〕，变形抗力乃是材料在给定变形条件下足以实现塑性变形的应力强度。

由于变形抗力值以余因子形式包含在解析计算公式中，所以其测定精确度在很大程度上决定着任何一种计算方法的精确度。

近年来，对工业金属、钢及合金在各种金属压力加工条件下的强度和塑性性能的试验研究结果，进行了大量的积累和系统化工作。

属于这类工作的，首先要算 А. В. 特列齐雅科夫等著的手册〔22~24〕和 Л. Д. 索科罗夫〔28~30〕、А. А. 普列斯尼雅科夫〔51~54〕、Н. И. 科尔涅也夫〔40、50〕、М. А. 扎依科夫〔36〕、М. И. 祖也夫〔37〕及其他研究者的著作。

这些著作中的试验资料，主要是标准的强度特性数据（ σ_T 、 $\sigma_{0.2}$ 、 σ_B 、 S_k 、硬度 HB、HRC 和 HV），它们都是在各种设备上用传统试验方法测定的。近来，在凸轮塑性计类试验机上试验金属及合金进行了大量的研究工作〔57、69~76、84~89、96、100~103、109~120、123~128〕，其结果是以往出版的手册中所没有的。

此外，这些手册取材时有时带有主观性，没有根据所研究金属与合金的试验方法、状态和化学成分进行引证。

这种做法不可避免地造成了已发表的试验资料之间的互相矛盾（表1）。这一点在其它著作中〔22〕也曾指出过。

本手册的任务是汇集变形温度-速度条件对工业金属与合金

⊖ 删减了原书序言第一段的第一句。——译者

在相当于真实金属压力加工过程条件下的变形抗力 σ 、强度特性和塑性指数变化的影响的试验资料。对于在凸轮塑性计上在宽的试验温度和应变速度变化范围内所进行的试验工作，给予了特别的注意。

书中简述了短时机械试验的试验方法和研究方法，以及确定金属与合金机械性能时试验数据的数学处理方法。

书中编入大量用曲线图和表格形式表达的试验研究结果，这些曲线和表格是对原始资料经起码的加工整理后得到的。

附录中，对各种试验研究方法作了说明，试验结果列入《金属与合金在各种变形温度-速度条件下的机械性能》部分。

作者将感谢所有读者对手册内容提出意见、更正和补充。

表1 摘自不同作者资料的几种钢的变形抗力 ($T_{\text{HCH}} = 1000^{\circ}\text{C}$, $\dot{\epsilon} = 1\text{秒}^{-1}$, $\bar{\epsilon} = 0.3 \sim 0.4$)

钢 号	钢 的 化 学 成 分 (%)											试验形式	试样尺寸 (毫米)	σ (公斤力/毫米 ²)	文献来源
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	W	Mo	Ti	V			
ILX15	1.0	0.31	0.24	0.018	0.017	1.54	0.09	0.1	—	—	—	—	20×40	10.8	[39]
	1.02	0.27	0.26	0.004	0.008	1.53	0.12	0.14	—	—	—	—	拉伸 d=6	9.4	[84]
	0.93	0.34	0.26	0.015	0.028	1.48	0.16	—	—	—	—	—	压缩 6×9	8.8	[32]
	0.98	0.2	0.3	微	量	1.51	0.19	微量	—	—	—	—	压缩 10×20	14.3	[29]
P18	0.80	0.32	0.28	0.01	0.015	4.30	0.18	—	18.4	0.55	—	1.54	压缩	27	[21,61]
	0.72	0.28	0.23	0.009	0.023	3.90	0.19	—	16.8	0.4	—	1.05	拉伸 d=6	23.7	[84]
	0.69	0.14	0.22	0.024	0.005	4.10	0.15	—	19.0	—	—	1.1	压缩 6×9	15.2	[32]
	0.72	0.20	0.22	0.016	0.028	3.98	0.18	—	18.0	0.08	—	1.32	压缩 20×24	20.5	[31]
	0.68	0.39	0.37	微	量	4.1	0.32	—	17.8	0.17	—	1.15	压缩 10×20	33.0	[29]
	0.07	0.43	0.48	微	量	18.6	7.7	—	—	—	—	—	压缩 12×25	19.4	[21,61]
X18H9T	0.09	1.09	0.46	0.016	0.033	17.0	10.4	0.27	—	—	0.48	—	拉伸 d=6	22.2	[84]
	0.07	0.82	0.47	0.011	0.030	17.8	10.5	—	—	—	0.2	—	压缩 6×9	13.9	[32]
	0.11	1.07	0.8	0.012	0.024	18.2	10.3	—	—	—	0.65	—	压缩 20×24	22.0	[31]
	0.07	1.06	0.49	0.005	0.037	18.37	9.16	—	—	—	—	—	压缩 10×15	17.6	[67]
	0.17	1.5	0.72	微	量	17.5	10.42	—	—	—	0.67	—	压缩 10×20	20.4	[29]
	0.07	0.43	0.48	微	量	18.6	7.7	—	—	—	—	—	压缩 12×25	19.4	[21,61]

采用的符号

- E ——正弹性模量 (公斤力/毫米²)
 μ ——泊松比
 ε ——应变 (%)
 $\bar{\varepsilon}$ ——真实 (对数) 应变
 $E_{\max}, \varepsilon_{\text{стат}}, \varepsilon_{\text{дин}} \ominus$ ——压缩时的最大许可变形 (%)
 δ, ψ ——试样的伸长率和断面收缩率 (%)
 S_k ——实际断裂强度 (公斤力/毫米²)
 σ ——变形抗力 (公斤力/毫米²)
 σ_0 ——基准条件下的变形抗力 (公斤力/毫米²)
 σ_b ——抗拉强度 (瞬时断裂强度) (公斤力/毫米²)
 σ_T ——屈服点 (公斤力/毫米²)
 $\sigma_{0.2}$ ——屈服强度 (公斤力/毫米²)
 α_H ——冲击韧性 (公斤力·米/厘米²)
 $\tau_{\max}$ ——最大切应力 (公斤力/毫米²)
 t_K ——真实抗扭强度 (公斤力/毫米²)
 $\gamma_{\max}$ ——扭转时的最大切应变 (%)
 $\rho_{\max} \ominus$ ——扭转时的最大真实切应变
 $\tau_{\text{среза}}$ ——切应力 (公斤力/毫米²)
 n ——弯折180°的次数
 q ——压缩时的平均压力 (公斤力/毫米²)
 HB ——布氏硬度
 $v_{\text{деф}}$ ——变形速度 (米/秒, 毫米/秒)
 $\dot{\varepsilon}$ ——应变速度 (秒⁻¹)
 $T_{\text{исп}}$ ——试验温度 (°C)
 σ_{100} ——100小时的持久强度

$\ominus$ $\varepsilon_{\text{стат}}, \varepsilon_{\text{дин}}$ 分别为静载和动载压缩时的最大许可变形。——译者

$\ominus$ $\rho_{\max}$ 原书误为 $q_{\max}$ 。——译者

目 录

金属与合金的强度特性和塑性特性的研究方法	1
1. 变形温度-速度条件对金属与合金的变形抗力和塑性的影响	1
2. 金属的短时机械试验方法	8
3. 金属短时机械试验用试验机的分类	21
4. 塑性计上的高温动力试验研究方法	42
5. 机械试验结果的数学处理	55
金属与合金在各种变形温度-速度条件下的机械性能	67
1. 钢及合金	67
碳钢	67
中合金钢	89
工具钢	131
高合金钢及合金	150
2. 有色金属及合金	249
铝合金	249
镁合金	294
钛合金	305
铜基与镍基合金	332
难熔金属及合金	392
其它有色金属	426
附录 手册中使用的研究方法说明	450
参 考 文 献	458
内容索引	465
金属与合金索引	471

金属与合金的强度特性和塑性 特性的研究方法

1. 变形温度-速度条件对金属与合金的变形抗力和塑性的影响

由硬化和软化过程综合影响所决定的变形抗力的现代意义，可以表达成以下最一般的形式：

$$\sigma = \sigma(T, \bar{\epsilon}, \dot{\epsilon}, \bar{\epsilon}(t), x) \quad (1)$$

式中 T —— 变形温度；

$\bar{\epsilon}$ —— 变形量（变形程度）；

$\dot{\epsilon}$ —— 应变速度（秒⁻¹）；

$\bar{\epsilon}(t)$ —— 变形随时间发展的规律；

x —— 材料的物理-化学性能。

方程式（1）微分后可以写成形式稍有改变的纳达依方程式：

$$d\sigma = \frac{\partial \sigma}{\partial T} dT + \frac{\partial \sigma}{\partial \bar{\epsilon}} d\bar{\epsilon} + \frac{\partial \sigma}{\partial \dot{\epsilon}} d\dot{\epsilon} + \frac{\partial \sigma}{\partial t} dt + \frac{\partial \sigma}{\partial x} dx \quad (2)$$

该方程式的局部形式就是马克斯威尔方程式：

$$\frac{d\sigma}{dt} = E \frac{d\bar{\epsilon}}{dt} - \frac{\sigma}{\tau_0} \quad (3)$$

式中 E —— 材料的弹性模量；

τ_0 —— 纯软化过程中的松弛时间常数（秒）。

可以用数值为 $\frac{\partial \sigma}{\partial \bar{\epsilon}}$ 的塑性变形硬化模数 D 代替公式（3）中的弹性模量，利用采里科夫-别尔西扬采夫（Целиков-Персиянцев）修正就得到：

$$\frac{d\sigma}{d\bar{\epsilon}} = D - \eta(\sigma - \sigma_0) \quad (4)$$

式中 $\eta = \frac{A}{\dot{\epsilon}}$; $A = \frac{1}{\tau_0}$ ——表示 τ_0 时间内平均松弛速度的数值;

σ_0 ——“静力”条件下的变形抗力。

现在,许多作者认为,条件相对松弛速度是变量 $\eta = \eta(T, \dot{\epsilon})$ 。如果把方程式(4)中的应变速度 $\dot{\epsilon}$ 当作常数,那么积分后可得A. И. 采里科夫方程式:

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{D}{\eta} (1 - e^{-\eta \bar{\epsilon}}) \quad (5)$$

如果能够通过间接途径确定参数 D 、 η 和 σ_0 ,则方程式(5)即可用于实际计算 $\dot{\epsilon} = \text{const}$ 时的变形抗力值。这个方程式同时考虑了两个因素——应变速度和变形程度对变形抗力的影响。

B. B. 维特曼和M. A. 兹拉金[83]考虑到变形温度和速度的影响,建议用下式确定 σ :

$$\ln \frac{\sigma}{\sigma_0} = m(T - T_0) \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \quad (6)$$

式中 m 和 T_0 ——常数;

T ——变形温度($^{\circ}\text{K}$)。

Я. С. 什瓦尔茨巴尔特[33]指出,在一定的温度-速度范围内,许多材料的 $\sigma(\bar{\epsilon})$ 函数在有限的 $\bar{\epsilon}$ 值区内($\bar{\epsilon} = 0.2 \sim 0.5$)具有明显的极大值。

作者把未知函数表达成下面的形式:

$$\sigma = \sigma_0 + D \bar{\epsilon} \exp\left(-\frac{\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}_x}\right) \quad (7)$$

式中 $\bar{\epsilon}_x = \frac{\dot{\epsilon}}{A}$ ——特征变形程度;

σ_0 ——外推屈服强度。

求出的规律性取决于两个同时发生的过程:

(1) 硬化过程,它遵从下面的规律

$$d\sigma_1 = D \exp\left(-\frac{\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}_x}\right) d\bar{\epsilon} = \frac{\sigma - \sigma_0}{\bar{\epsilon}} d\bar{\epsilon} \quad (7a)$$

(2) 软化过程, 它遵从下面的规律

$$d\sigma_2 = -\frac{1}{\epsilon_x} D\bar{\epsilon} \exp\left(-\frac{\bar{\epsilon}}{\epsilon_x}\right) d\bar{\epsilon} = -A(\sigma - \sigma_0) dt \quad (76)$$

作者所提出的关系式, 极近似于在塑性计上试验大批钢与合金时所得到的实验曲线 $\sigma - \bar{\epsilon}$ [57、61、67]。

最近的研究结果 [16、17] 表明, 在完全软化变形时, 金属组织基本上是由变形程度 $\bar{\epsilon}$ 的大小和参数 Z 的值决定的:

$$Z = \bar{\epsilon} e^{\frac{\Delta H}{RT}} \quad (8)$$

式中 ΔH ——激活能;

R ——通用的气体常数;

T ——绝对温度。

确定热力参数对金属与合金变形抗力综合影响的无数经验公式, 只有在获得充分试验资料的条件下才可以采用, 而且利用这些公式计算实际金属压力加工过程, 往往造成明显的误差。

变形程度对变形抗力数值的影响, 通常表达成不同变形温度-速度条件下测绘出的硬化曲线的形式。C. И. 古布金建议, 用图解-解析法通过两点绘制近似直线代替热变形的硬化曲线 [7]。Г. А. 斯米尔诺夫-阿列也夫提出了绘制应力-应变关系曲线的类似方法 [5]。此外, 还有表达这种关系的许多公式都是在试验资料及某些理论原理, 其中包括硬化-复原原理的基础上求出的。

如所周知, 硬化强度随变形程度的增加而降低, 在某一 $\bar{\epsilon}$ 值下达到硬化极限, 然后变形抗力保持不变, 甚至下降。随着变形温度的升高和应变速度的降低, 硬化强度减低。

不同温度-速度试验条件下的关系式 $\sigma = f(\bar{\epsilon})$, 通常具有直线关系、指数关系或对数关系的形式, 这是由C. И. 古布金和列依塔首先提出的, 随后在其它作者的著作中 [17、25、28] 得到了理论的和试验的证明:

$$\sigma = a\bar{\epsilon}^n \quad (9a)$$

$$\sigma = a \dot{\epsilon} \quad (96)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^n \quad (9B)$$

$$\sigma = \sigma_0 + A_1 \lg \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \quad (9\Gamma)$$

式中 n ——速度指数，对于一定的变形温度和速度范围来说是不变的；

A_1 ——常数。

在M. A. 扎依科夫的著作中[36]，关系式 $\sigma = a \dot{\epsilon}^n$ 是在不可逆过程热力学第二定律的基础上求出的，并且还同时证明了获得变形抗力与速度成半对数形式的关系式的可能性（根据П. Л. 留德维克）：

$$\sigma = \sigma_0 + C \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \quad (10)$$

许多研究结果证明，对数关系对于不完全硬化和无硬化变形是正确的。

Ф. Ф. 维特曼和B. A. 斯捷潘诺夫从H. H. 达维金科夫指出的理论出发，导出了给出«双重»对数关系的公式[18]：

$$\lg \frac{\sigma}{\sigma_0} = n \lg \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0}$$

式中 $n = \frac{D_1}{H_k}$ ； D_1 ——变形抗力的温度关系系数；

H_k ——复原或自扩散过程的松弛激活能。

速度对变形抗力的影响程度，在很大程度上取决于过程的温度。在许多著作中，速度指数 n 与同系温度的关系采用线性的：

$$\left. \begin{array}{l} \text{按Л. Д. 索科罗夫} \quad n = m \frac{T - T_{\text{н.н.}}}{T_{\text{н.н.}}} \\ \text{按M. A. 扎依科夫} \quad n = 0.3 \frac{T}{T_{\text{н.н.}}} \\ \text{按B. C. 佐捷也夫} \quad n = \alpha + \beta T \end{array} \right\} \quad (11)$$

⊖ $T_{\text{н.н.}}$ ——熔化温度。——译者

而在 $T' = 0.5 \sim 0.55$ 时 (T' —同系温度), 关系曲线 $n_1 = f(T)$ 转为曲线 $n_2 = f(T)$ 。

因此, 可以用在某一应变速度 $\dot{\epsilon}$ 下相交的两个函数描述共同的温度范围:

$$\text{和} \quad \left. \begin{aligned} \lg \sigma &= n_1 \lg \dot{\epsilon} \\ \lg \sigma &= n_2 \lg \dot{\epsilon} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

厄尔德尔和费利普斯[91]也导出了以下相类似的关系式:

$$\sigma = \sigma_0 \dot{\epsilon}^{n_1}; \quad \sigma = \sigma_0 \dot{\epsilon}^{n_2} \quad (13)$$

铝、铜及低碳钢的 n_1 和 n_2 的交点相当于 $T' = 0.5 \sim 0.6$ 。

随着试验温度的提高, 软化过程的速度和应变速度对 σ 的影响都增大, 当温度高于 T_{KP} 时 (T_{KP} —临界温度), 软化过程的速度趋向最后极限, 从而造成速度关系的衰减。

最新实验资料[16、17、67]证明, 在温热变形及热变形温度区, 许多金属及合金的 n 与 T 的关系是非线性的。

为了表示变形抗力与试验温度的关系, 通常采用 H. C. 库尔纳科夫首先提出的、随后经 C. И. 古布金 [7] 证明了的指数关系式。后来 M. A. 扎依科夫根据热力学和统计物理学的原理, 得到了指数关系式的理论结论:

$$\sigma = \sigma'_0 e^{-bT} \quad (14)$$

式中 σ'_0 ——外推到 0°K 的变形抗力;

b ——温度系数。

可以把导出的关系写成下式:

$$\sigma = \sigma_{nn} e^{b(T_{nn} - T)} \quad (15)$$

式中 σ_{nn} ——外推到熔化温度的变形抗力。

通常对变形抗力与试验热力条件的关系的实验研究, 是在固定的变形速度或固定的应变速度下进行的。有些研究者在自己著作中根本不指出所利用的应变速度变化规律。

同时,每一种金属压力加工过程都以自己一定的变形随时间发展的规律为特征,这种规律取决于机器的类型、被加工工件的尺寸、工作模具的几何形状、加工过程的工艺顺序和周期性,以及其它许多参数。

因此,变形抗力应当不仅定义为变形温度、变形程度、应变速度和金属物理-化学性能的函数,而且也是应变速度随时间变化规律的函数。

文献中列有几种确定复杂载荷特性下变形抗力变化的方法,这些方法主要同在小等级变形下,以及在剧烈改变着的载荷规律下实验确定金属的软化有关^[48, 85, 88, 120]。

在用解析法确定变形抗力时,蠕变理论方程式能够最完整地说明加载过程的历史。

虽然长时蠕变(持久蠕变)和短时蠕变(瞬时变形)的本质不同,但是这些过程的流变现象是相似的,并且可以用同样的蠕变现象学理论加以描述。

Ю. Н. 拉勃特诺夫蠕变广义方程式,在时间 $t > s$ 时,具有以下形式^[41]:

$$\varphi(\epsilon) = \sigma(t) + \int_0^t K(t-s) \sigma(s) ds \quad (16)$$

А. А. 波兹捷也夫等人所完成的对现有蠕变理论的分析^[48]指出,遗传理论方程式最完整地描述了金属在热压力加工过程中的性能:

$$\sigma(t) = \varphi(\epsilon) - \int_0^t R(t-s) \varphi(s) ds \quad (17)$$

式中 $R(t-s)$ ——方程式(16)松弛核 $K(t-s)$ 的豫解。

在推导方程式(17)时,假设变形是间断地进行的;表征瞬时变形曲线的函数 $\varphi(\epsilon)$ 由下述关系式确定:

$$\varphi(\epsilon) = b - (b-a) \exp(-B\epsilon) \quad (18)$$

式中 a, b, B ——表示给定材料特性的常数。

在著作^[48]中,首次拟订了利用蠕变理论基本方程式计算金

属在锻造和轧制条件下热变形过程的力能参数的方法。

金属与合金的塑性性质也取决于物理-化学性能、组织、变形温度-速度条件（考虑加载历史的）、应力状态图、变形体尺寸及周围介质。由于因素的多样性及其综合影响的复杂性，不可能得到可靠地确定各种变形条件下塑性贮量的精确的定量关系式。

这类因素（诸如预变形、应变速度、尺寸因素及金属的应力状态特性等）对塑性的影响，研究得还不够广泛。试验温度对塑性的影响研究得稍充分些。

在许多作者的著作中，首先是在С. И. 古布金[7]、А. П. 斯米利雅金[55]、А. А. 普列斯尼雅科夫[51~54]、М. И. 祖也夫[37]、Ю. М. 契日科夫[80]、Н. И. 科尔涅也夫和И. В. 斯库哥列夫[40]的著作中，指出了塑性特性随变形条件，其中包括变形温度-速度条件而变化的复杂的、有时甚至是反常的性质。

在Е. М. 沙维茨基的一些著作中，曾首次建议用指数增函数的形式表示塑性性质变化的温度关系[25]：

$$\Pi_2 = \Pi_1 e^{\alpha (T_2 - T_1)} \quad (19)$$

式中 Π_1 、 Π_2 ——相应于温度 T_1 与 T_2 时的某一相态的塑性性质；
 α ——温度系数。

在著作[25]中也利用了表征相应极限变形程度的塑性指数与温度的关系：

$$\lambda = \lambda_0 e^{-\zeta T} \quad (20)$$

式中 λ_0 —— $T_0 < T$ 时的塑性指数；
 λ ——相应于温度 T 的塑性指数；
 ζ ——系数，对相当于不完全热变形的温度区是一个常数。

关于应变速度对塑性影响的资料，往往是十分矛盾的，但是根据大量的实验资料可以证明，应变速度对塑性的影响比温度的影响小得多。

对于金属热压力加工过程，В. Л. 科尔莫哥罗夫采用了以下

的变形性条件[81]:

$$\psi = \int_0^1 E(t-s) B(s) \frac{H(s)}{\lambda_p |k(s)|} ds \quad (21)$$

式中 ψ ——塑性贮量利用程度;

$E(t-s)$ ——遗传系数, 在0到1内变动, 是一个单调减函数;

$B(s)$ ——考虑微观缺陷形成过程与“消除”过程关系的系数;

$H(s)$ ——切应变速度强度。

极限塑性指数 λ_p 是无破坏变形条件(21)中的基本数值之一, λ_p 与应力状态指数 $\lambda_p |k(s)|$ 的关系是比较精确的。

在一系列新近著作中[121, 122], 为了确定塑性贮量在变形过程中的利用程度, 使用了数学统计学的或然率方法。

目前, 用于确定金属与合金变形抗力和塑性特性的方法是多种多样的, 但其中最基本的仍然是标准的机械试验方法。

2. 金属的短时机械试验方法

目前, 拉伸、压缩、扭转、冲击弯曲等短时机械试验方法, 以及某些工艺试验形式, 得到了最广泛的应用。每一种试验方法都具有独特的试样材料的变形条件和破坏条件, 都只能反映仅在该试验条件下所能显示出的金属的某些性质。

因此, 定量比较各种试验方法所求得的结果, 特别是塑性特性方面的结果, 在许多情况下是很困难的。

至今还没有一种试验方法能够同时评价材料的综合塑性性质及其固有的塑性能力。

通常使用拉伸、压缩、弯曲或剪切试验研究变形抗力和其它强度特性。在确定金属与合金的塑性性质和变形性时, 采用扭转、拉伸、冲击弯曲试验方法和一些工艺试验[14, 15]。

为了研究材料表层的局部塑性变形抗力, 广泛使用各种硬度试验方法。