

合金鋼及合金的 板料冲压

[苏联] Ю. П. 达維多夫、Г. В. 波克洛夫斯基著



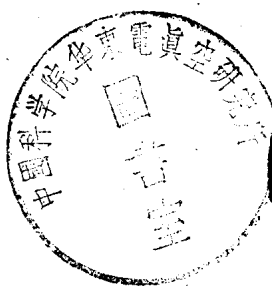
國防工業出版社

2563

22.4
713

合金鋼及合金的 板料冲压

[苏联] Ю. П. 达維多夫、Г. Б. 波克洛夫斯基 著
岳常儉、吳詩惇、羅子健 譯



5369

国防工业出版社

1965

1101099

內 容 簡 介

本书总结了作者在合金鋼及合金板料冲压方面的多年研究成果。

研究了与鋁合金、鎂合金、鈦合金、不銹鋼、耐熱合金和難熔合金冲压性有关的板料性能。列举了鉴定板料冲压性的方法。闡述了合金鋼和合金的板料冲压工艺特点。并且介紹了潤滑剂、热处理、模具材料以及其他的冲压問題。

本书可供冲压車間的工程技術人員、設計師以及金屬压力加工領域內从事研究的科学工作者参考用。

本书对于高等院校压力加工专业的师生也有参考价值。

本书第一章到第八章由吳詩惇同志翻譯，前言及第九章由羅子健同志翻譯，第十章和第十一章由岳常儉同志翻譯。由羅子健和吳詩惇兩同志校對。最后由岳常儉审閱。

ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

〔苏联〕Ю. П. Давыдов, Г. В. Покровский
ОБОРОНГИЗ 1962

合金鋼及合金的板料冲压
岳常儉、吳詩惇、羅子健 譯

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售
国防工业出版社印刷厂印裝

850×1168 $1/32$ 印張 $6\frac{3}{8}$ 161 千字

1965 年 2 月第一版 1965 年 2 月第一次印刷 印数：0,001—9,150 册

統一書号：15034·838 定价：(科七) 1.10 元

目 录

前言	5
第一章 板料冲压性的研究	7
冲压性的鉴定方法	7
冲压性和机械性能的关系	9
冲压性的試驗方法	20
冲压性和化学成份及組織的关系	40
第二章 碳鋼和合金鋼	50
第三章 不銹、抗氧化、耐酸和耐热鋼及合金	61
第四章 鋁合金	75
第五章 鎂合金	103
第六章 鈦合金	112
第七章 难熔金屬与合金	127
第八章 銅、鎳、鋅、鉍、鋳合金以及某些电工材料	136
第九章 板料冲压时的摩擦与潤滑	147
第十章 模具制造用的材料	176
模具鋼	180
特种鑄鉄	185
有色減磨合金	188
硬质金屬陶瓷合金	190
易熔合金	192
非金屬材料	196
第十一章 装备和毛料的加热方法	200
装备的加热	200
毛料的加热	202

75.63

77.4
713

合金鋼及合金的 板料冲压

[苏联] Ю. П. 达維多夫、Г. В. 波克洛夫斯基 著

岳常儉、吳詩惇、羅子健 譯



國防工業出版社

1965

內 容 簡 介

本书总结了作者在合金鋼及合金板料冲压方面的多年研究成果。

研究了与鋁合金、鎂合金、鈦合金、不銹鋼、耐热合金和难熔合金冲压性有关的板料性能。列举了鉴定板料冲压性的方法。闡述了合金鋼和合金的板料冲压工艺特点。并且介紹了潤滑剂、热处理、模具材料以及其他的冲压問題。

本书可供冲压車間的工程技術人員、設計師以及在金屬压力加工領域內从事研究的科学工作者参考用。

本书对于高等院校压力加工专业的师生也有参考价值。

本书第一章到第八章由吳詩惇同志翻譯，前言及第九章由羅子健同志翻譯，第十章和第十一章由岳常儉同志翻譯。由羅子健和吳詩惇两同志校对。最后由岳常儉审閱。

ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

〔苏联〕Ю. П. Давыдов, Г. В. Покровский
ОБОРОНГИЗ 1962

合金鋼及合金的板料冲压
岳常儉、吳詩惇、羅子健 譯

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售
国防工业出版社印刷厂印裝

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 $6\frac{3}{8}$ 161 千字

1965 年 2 月第一版 1965 年 2 月第一次印刷 印数：0,001—9,150 册

統一書号：15034·838 定价：(科七) 1.10 元

目 录

前言	5
第一章 板料冲压性的研究	7
冲压性的鉴定方法	7
冲压性和机械性能的关系	9
冲压性的試驗方法	20
冲压性和化学成份及組織的关系	40
第二章 碳鋼和合金鋼	50
第三章 不銹、抗氧化、耐酸和耐热鋼及合金	61
第四章 鋁合金	75
第五章 鎂合金	103
第六章 鈦合金	112
第七章 难熔金屬与合金	127
第八章 銅、鎳、鋅、鉍、鋳合金以及某些电工材料	136
第九章 板料冲压时的摩擦与潤滑	147
第十章 模具制造用的材料	176
模具鋼	180
特种鑄鉄	185
有色減磨合金	188
硬质金屬陶瓷合金	190
易熔合金	192
非金屬材料	196
第十一章 装备和毛料的加热方法	200
装备的加热	200
毛料的加热	202

本书中所用符号的意义

E —— 弹性模数;	$K_{\text{выт,раб}}$ —— 工作 (实用) 压延系数;
σ_b —— 强度极限;	$K_{\text{отб}}$ —— 翻边系数;
$\sigma_{0.2}, \sigma_T$ —— 屈服极限;	$K_{\text{отб,пр}}$ —— 极限翻边系数;
$\sigma_{\text{упр}}$ —— 弹性极限;	$K_{\text{отб,раб}}$ —— 工作 (实用) 翻边系数;
$\sigma_{\text{ср}}, \tau_{\text{ср}}$ —— 抗剪强度;	$K_{\text{вылд}}$ —— 局部成形系数;
$\delta_{10}, \delta_5, \delta$ —— 延伸率;	$K_{\text{вылд,пр}}$ —— 极限局部成形系数;
$\delta_{\text{полн}}$ —— 总延伸率;	$r_{\text{гнба}}$ —— 弯曲半径;
$\delta_{\text{равн}}$ —— 均匀延伸率;	$r_{\text{мин}}$ —— 最小弯曲半径;
$\delta_{\text{соср}}$ —— 集中变形的延伸率;	$r_{\text{раб}}$ —— 工作 (实用) 弯曲半径;
ψ —— 断面收缩率;	S —— 板料厚度;
$\psi_{\text{полн}}$ —— 总断面收缩率;	$r_{\text{м}}$ —— 凹模圆角半径;
$\psi_{\text{равн}}$ —— 均匀断面收缩率;	$r_{\text{м1}}$ —— 第一道冲压工序的凹模圆角半径;
ψ_b —— 形成细颈处的断面收缩率;	$r_{\text{мn}}$ —— 第 n 道冲压工序的凹模圆角半径;
S —— 真实应力;	$r_{\text{п}}$ —— 凸模圆角半径;
S_b —— 形成细颈时的真实应力;	$r_{\text{п1}}$ —— 第一道冲压工序的凸模圆角半径;
S_k —— 破坏时的真实应力;	z —— 凸凹模之间的间隙。
$A_{\text{полн}}$ —— 全塑性;	
$P_{\text{выт}}$ —— 压延力;	
$K_{\text{выт}}$ —— 压延系数;	
$K_{\text{выт,пр}}$ —— 极限压延系数;	

前 言

很多板料冲压文献，只詳尽地探討了冲压的各种工序（如冲裁、弯曲、压延等）、模具設計、設備及工艺过程机械化与自动化等問題，但都沒有涉及到与冲压材料有关的問題。也沒有关于許多材料的冲压工艺特点的資料。

現有的冲压书籍基本上是研究广泛运用于机械制造业部門的碳鋼的加工，仅有个別著作扼要地說明了某些鋁合金冲压工艺，而像不銹鋼这样重要的結構材料的冲压，几乎沒有被闡明。

此外，近几年来，新型結構（高强度鋼，耐热合金，鈦合金，难熔合金以及其他合金）的板料，在冲压中的应用，大为增加。

鉴于这种情况，本书作者对各种板料的冲压性以及它們的工艺过程特点給予很大的注意。众所周知，各种鋼及合金冲压时的情况是不一样的，因而，确定各种材料的机械性能、組織、热处理规范以及其他因素对它們冲压性的影响具有重要的实际意义。

书中分析了試驗板料冲压性的各种方法，并且提供了某些实际建議，以便确定鋼及合金板料冲压的适应性。詳細地研究了下列材料的冲压工艺性能与特点。这些材料是：碳鋼、高强度合金鋼、特殊鋼（不銹鋼与耐热鋼）、鋁合金、鎂合金、鈦合金、难熔合金以及其他材料。

此外，书中还闡述了某些冲压裝置的設計問題（选择寿命长的模具材料；热态冲压时裝置加热的方法），并且研究了摩擦与潤滑剂的問題，这个問題在冲压各种合金鋼及合金时具有特別重要的意义。

本书第一篇及第九篇系Ю. П. 达維多夫（Давыдов）所写，其

余各篇由两位作者共同执笔。

本书主要取材于作者在研究工作中所得的原始資料。技術員 О. М. 馬南金 (Муныкин), М. Д. 庫茲米切夫 (Кузьмичев) 及 И. И. 邦秋西 (Пантюшин) 参加了实验工作, 作者对他们表示謝意。

第一章 板料冲压性的研究

冲压性的鉴定方法

现在有很多探讨确定钢及合金压延性能的著作^①。应该指出，压延性能只标志材料经受冲压工序之一——深压延的能力。所谓冲压性是板料经受各种冲压工序（压延、弯曲、翻边、局部成形、压梗和拉弯等）的能力。

以下所述的冲压性的鉴定方法是众所周知的。

简单的工艺试验：180°弯曲，反复弯曲次数，条料的切口弯曲。后者是将有长和宽各为 10 毫米切口的条料端部插入特殊心棒的缝隙中，然后将它缠绕在心棒上。这些试验的结果只能提供弯曲能力的概念。

在 40×90 毫米的长方形试件上穿切成宽 20 毫米和长 50 毫米的小条的压延拉断试验，可以提供材料经受单向拉弯能力的一些概念。

布氏、洛氏、维氏以及其他硬度试验广泛用来快速而粗略地鉴定材料的某些机械性能。在确定各种材料的硬度和强度极限之

-
- И. Г. Ковалев, Исследование пластической деформации при глубокой вытяжке дуралюмина, Кандидатская диссертация, ВИАМ, 1946.
Л. А. Шофман, Испытание листового металла для глубокой вытяжки, «Заволская лаборатория», 1946, №4~5.
М. П. Марковец, Значение равномерной деформации металлов для оценки их конструктивной прочности и способности к холодной штамповке, «Заволская лаборатория», 1953, №6.
А. В. Алтыкис, Современное состояние методов контроля и оценки вытяжных свойств листовых металлов, 论文集《Прогрессивная технология холодноштамповочного производства》，Машгиз, 1956 以及许多其他著作。

間的关系方面已經进行了很多研究，但是硬度和冲压性的直接关系还没有被确定。

埃利克森 (Эриксен)、欧利森 (Ольсен)、葛利列 (Гиллерь)、阿姆斯特列尔 (Амслер)、埃飞利 (Эверь) 等刚性凸模压深穴試驗是将毛料压在相应試驗裝置的凹模和压边圈之間，借局部拉伸而压成深穴。这种試驗方法，不符合深压延的条件，因此也不能反映板料經受深压延的能力。

刚性凸模压穴試驗可推荐用来确定材料經受各种局部成形的(加强梗型的)能力。

使用液体的压深穴試驗〔按約維聶 (Джовинье)，英国物理研究所〕的特点是同时在毛料未夹持部分的全部表面上施加压力。这时，沒有通常在毛料和金属凸模之間产生的摩擦力。这种試驗形式可作为液压冲压和橡皮压制性能的特种試驗情况。

扩孔試驗〔根据息別里 (Зибель) 和鲍波 (Помп)〕和用錐形凸模将孔翻边的試驗，用于确定，对中間有孔的毛料进行翻内边、翻外边以及沿曲外形形成凸緣(这时在变形区内存在切向拉伸)等工序的能力。

楔形試件的挤延試驗是由沙克斯 (Закс) 首先提出来的。它是将形如筒形压延件毛料体素的一条楔形試件，通过特殊的裝置进行挤延，以同时实现側面的压缩和纵向的拉伸。

这种試驗方法虽符合深压延过程，但还不够充分，因为它沒有考虑到一般压延时，在凹模和凸模圆角周围所发生的弯曲，而在实际过程中，在被挤延試件的側边又有了摩擦。

因为压延圆筒形試件的方法符合压延过程的实际情况，因而获得广泛采用。所以現在沒有必要应用这种相当复杂的材料深压延試驗方法。

空心圆筒形試件的压延試驗近来已在工业中应用，但是它不能給出关于材料冲压性的完整概念，因为它不符合弯曲、翻边和压硬的条件。

因而，所列举的試驗方法中沒有一种能用来确定材料經受所有冲压方式的能力。

冲压性和机械性能的关系

在确定板料冲压性时，应特別注意对机械試驗結果的分析。

虽然拉伸的机械試驗图（在这种情况下仅有綫性或近似于綫性的应力作用）在大多数情况下，并不符合复杂的冲压工序的应力应变力学图（这时拉伸和压缩应力同时作用），但是这种試驗可以得到被試驗材料的一系列有价值的强度、塑性和变形抗力方面的特性。

虽然这些指标不能提供具体的冲压性系数，但它們在很大程度上确定了材料在冲压过程中的性质。如果掌握整套标准拉伸試驗的結果，而且知道主要类型的鋼与合金性能以及这些性能对塑性变形过程的影响的話，通过比拟就可以足够精确地确定新型板料在冲压时的性质。

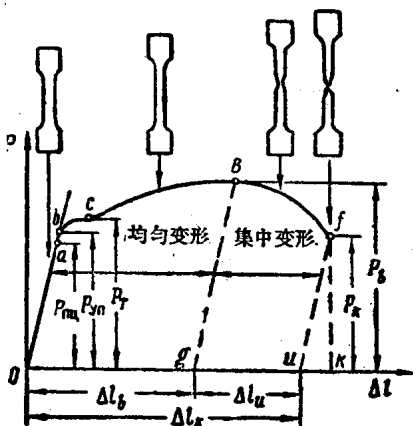


图1 假象拉伸曲线。

下面准备对假象拉伸曲线（图1）和其上的特性点进行分析。

曲线上的a点是比例极限 σ_{mn} （假象应力），在此应力下，开始出现负荷P与绝对延伸量 Δl 之间关系偏离直线的迹象。实际上是以变形对于比例定律的相对偏离达10%时的应力，作为比

例极限的。

b 点是弹性极限 σ_{yn} (假象应力), 在这应力下开始出现残余变形的迹象。通常, 为了大多数实际计算, 比例极限 σ_{mn} 和弹性极限 σ_{yn} 采用一样的数值。

c 点是屈服极限 σ_r , 对于在拉伸时没有屈服平台的材料, 将残余变形 0.2% 时的应力作为假象屈服应力 $\sigma_{0.2}$ 。

B 点是强度极限 σ_b 。 σ_b 在数值上等于最大负荷除以试件横断面的初始面积 F_0 。

试件在应力低于强度极限 (σ_b) 的情况下, 在 f 点发生断裂。这是因为在曲线 B 点处的线段上, 试件形成细颈, 以致它的横断面减少的缘故。

如果以 F_k 表示在断裂瞬间的试件最小横断面面积, 那么在断裂瞬间的试件断面收缩率可用下式表示:

$$\psi_k = \frac{F_0 - F_k}{F_0}。$$

正如假象拉伸图所表明的那样, 试件的总变形 Δl_k 由 (拉伸的) 均匀变形 Δl_b (细颈出现以前) 和集中变形 Δl_u 组成。总的相对延伸率 δ 按下式计算:

$$\delta = \frac{\Delta l_k}{l_0} = \delta_{\text{раст}} + \delta_{\text{соеп}} = \frac{\Delta l_b}{l_0} + \frac{\Delta l_u}{l_0}。$$

相应地, 横断面面积的总收缩率 ψ 由最大的均匀收缩率

$$\psi_b = \frac{F_0 - F_b}{F_0}$$

和集中收缩率

$$\psi_u = \frac{F_b - F_k}{F_b}$$

组成。

式中 F_k 表示在形成细颈瞬间的试件横断面面积。

拉伸时法向弹性模数 E 是在单向拉伸时材料对弹性延伸的阻抗特性。它由试件在弹性极限内拉伸时的应力 σ 与相对延伸率 δ

的比 ($E = \sigma/\delta$) 所确定, 在数值上则等于以 $\sigma - \delta$ 为坐标作出的拉伸曲线开始线段的倾斜角 α 的正切 (图 2)。弹性模数的大小是每种材料的特性, 它主要由材料的化学成分、组织和试验温度所决定。

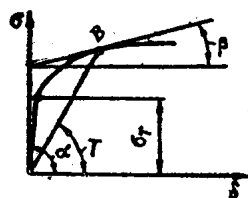


图 2

试件在出现屈服极限 σ_r 以后, 精确地说, 在出现弹性极限 σ_{yn} 以后的拉伸中, 真实应力对相对变形的导数 $d\sigma/d\delta$ 称作硬化模数 D 。硬化模数的数值取决于对拉伸曲线在所研究点 B 上切线倾斜角 β (图 2) 的正切。通常, 随着变形程度增加, 它的数值总是减少。

试件在出现屈服极限以后的拉伸中, 假象应力 σ 与相对变形 δ 的比, 称作塑性模数 E' 。塑性模数由 γ 角的正切所确定。它的大小是变化的。在所有情况下, $E > E' > D$ 。

对冲压性有主要影响的机械性能指标有: 强度极限 σ_b 和屈服极限 $\sigma_{0.2}$; 屈服极限和强度极限的比; 弹性模数; 变形功; 总延伸率指标 δ_{10} , δ_5 和总断面收缩率 ψ ; 均匀变形数值 $\delta_{\text{павн}}$ 和 $\psi_{\text{павн}}$ 。

强度极限 σ_b 和屈服极限 $\sigma_{0.2}$ 是决定材料变形抗力的基本特性。强度极限和屈服极限愈高, 则变形抗力愈高, 因而冲压时材料所经受的应力也愈高。如金属与合金的屈服极限高, 那么冲压时弹性回跳就大。

屈服极限与强度极限的比 $\sigma_{0.2}/\sigma_b$ 的大小是材料可变形性的另一重要指标。它决定了材料在不破坏的条件下, 允许变形程度的范围。比值 $\sigma_{0.2}/\sigma_b$ 越高, 或 $\sigma_b - \sigma_{0.2}$ 之差越小, 则变形条件越差, 因为这些材料仅在接近强度极限的应力下才达到屈服极限。

弹性模数 E 标志材料的刚度, 即在拉伸和压缩时, 材料对弹性变形的阻力。在一些文献●中, 建议以比值 E/σ_r 表示弹性回

跳和在压缩应力作用时的失稳指数。当这个比值增加时，即当弹性模数增加和屈服极限减少时，弹性回跳（弹性后效）和失稳的倾向减少。

现在来分析一下弹性回跳与屈服极限 σ_r ，弹性模数 E 和变形大小 Δl 之间关系的主要情况（图 3）。

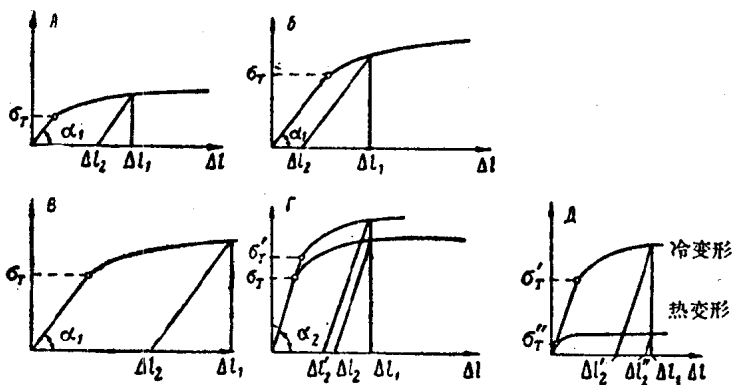


图 3 各个因素对弹性回跳大小的影响：

Δl_1 —总变形； Δl_2 —残余变形； $\Delta l_1 - \Delta l_2$ —弹性回跳； $f = \frac{\Delta l_2}{\Delta l_1}$ —可

变形性系数； α —决定弹性模数 E 的曲线的直线的倾斜角。

情况 A 相应于低屈服极限 σ_r 和不大的弹性回跳值 $\Delta l_1 - \Delta l_2$ （低强度钢和在退火状态的合金）。

情况 B 可用来说明具有高屈服极限值（相应于 α_1 的 E 值和 Δl_1 值与在情况 A 时相同）的高强度钢及合金加工时弹性回跳高的原因。

情况 B 表明， E 与 σ_r 值和在情况 B 相同时（曲线形状与在情况 B 时相同，但 Δl_1 值大一倍），总变形 Δl_1 增加，则相对弹性回跳

$$\frac{\Delta l_1 - \Delta l_2}{\Delta l_1}$$

减少。用这可以解释，譬如为什么以同样的弯曲半径 $r_{\text{гнбн}}$ 弯曲

时, 对于較厚的板料, 彈性回跳較小。当厚板弯曲时, 毛料外层变形比薄板外层要大 ($\Delta l_1 = S/2r_{\text{гнбл}}$)。

情况 Γ 表明, 在屈服极限和变形 Δl_1 相同时, 彈性模数增加 (与情况 B 相比), 則彈性回跳减少。借助冷作硬化, 将 σ_r 增加到 σ'_r (当 E 不变时), 則彈性回跳从 $\Delta l_1 - \Delta l_2$ 增加到 $\Delta l_1 - \Delta l'_2$ 。

情况 A 說明在热态变形时彈性回跳减少。屈服极限减小 (从 σ'_r 至 σ''_r), 可变形性系数 f 增加 (从 $\Delta l'_2/\Delta l_1$ 增至 $\Delta l''_2/\Delta l_1$)。

变形功 A (在材料破坏以前, 单位体积吸收一定量能量的能力)。冲压时 (为了計算能量的消耗) 不仅掌握全塑性的数据, 即变形曲綫的最大横坐标是重要的; 而且掌握关于变形功或全韌性 A_s 的数据也是重要的。在拉伸时, 此值按以 $\sigma - \delta_{10}$ (或 δ_s) 为座标的拉伸曲綫下的面积計量。有时, 它可按下列公式近似計算:

$$A_s \approx \eta_1 \sigma_b \delta_{10},$$

式中 η_1 ——充滿系数, 一般等于 0.9。

如 Я. Б. 費里德曼 (Фридман) 所指出的那样, 为了比較精确, 应分为相应于 $\delta_{\text{равн}}$ 的均匀拉伸功 $A_{\text{равн}}$ 和相应于 $\delta_{\text{полн}}$ 的破坏以前的全变形功 $A_{\text{полн}}$ 。例如, 对于退火状态、新淬火状态和时效状态的杜拉鋁 $\Pi 16$ (图 4), 在 δ_{10} 值 (18~19%)

和 $\delta_{\text{равн}}$ 值 (13~15%) 大致相同时, 由于 $\sigma_{0.2}$ 和 σ_b 值之間有很大的差异, 变形功是不同的。

显然, 变形功大小与彈性模数大小有直接关系。而拉伸曲綫直綫綫段的傾斜度决定了彈性模数的大小。例如, 鈦和鋁的延伸率大致相同 $\delta_{10} \approx 30 \sim 35\%$, 而 E 值相差很大 (分別为 11000 和

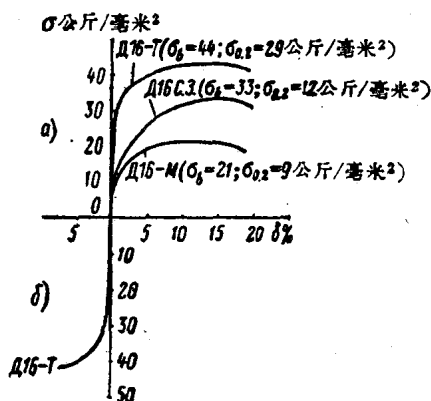


图 4 各种状态的杜拉鋁 $\Pi 16$ 的假象拉伸曲綫 (a) 和压缩曲綫 (b)。