

基本馆藏

125036

莫斯科航空工藝學院論文集

金属深压延的研究



國防工業出版社

75

431

5775

5/4431

K.3

125036

莫斯科航空工艺學院論文集

金屬深壓延的研究

И. Ф. 楚达列夫 主編

梁 炳 文 等譯

10



國防工業出版社

內 容 簡 介

本文集刊載了六篇有关深压延的著作和一篇有关拉弯的著作。本文集的重点是叙述有关毛料加热以便达到强化压延过程的目的。

本文集係根据苏联莫斯科工艺学院论文集第29分册譯出。

Под редакцией
канд. техн. наук доцента П. Ф. Чударева
ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ
ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКИ МЕТАЛЛОВ
ТРУДЫ ИНСТИТУТА

Выпуск 29
Государственное
Издательство Оборонной Промышленности
Москва 1956

本書系根据苏联国防工业出版社
一九五六年俄文版譯出

金屬深压延的研究

梁炳文 等譯

*

國防·重工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第074号
北京新中印刷厂印刷 新华書店发行

*

850×1168 1/32 • 45/8 印張 • 插頁2 • 120,000字

一九五七年八月第一版

一九五七年八月北京第一次印刷

印數: 1—1,100册 定價: (10)0.86元

前 言

在这个論文集里，刊載了莫斯科航空工艺学院冲压試驗室工作人員所完成的一些理論和試驗工作的結果。其中大部分材料都涉及到板料深壓延的一些問題。

在冲壓實驗室強化壓延過程的各種趨向中，依靠在模具中加熱突緣，亦即通過消除主要變形區材料的應變剛以強化壓延工作的方法，正在進行着廣泛的試驗和理論分析。對於各種不同形狀和不同材料（鋁鎂合金，鋼，黃銅）的零件，加熱壓延要比冷壓延優越得多。減小了突緣變形抵抗力與較高的危險斷面強度之間的有利比值，就有可能在一次加熱壓延工序後達到很高的變形程度，這個變形程度，在冷壓延的情況下，必須經過幾道工序和幾次的材料中間熱處理後才能達到。在壓延平面形狀很複雜的零件時，採用加熱突緣的方法特別有效。

冷壓延时，其所產生的變形程度不大，在這種情況下，冲壓杯形件所得到的結果，通常都可轉用到複雜形狀零件的壓延過程中去，以確定必需的工序數目，毛料的大致輪廓，突緣的應力狀態，所需要的外力，以及其它的一些工藝參數。但在加熱壓延时，其所達到的變形程度很大，在這種情況下，這種轉用方法就完全不適用了。

因此，除了試驗工作以外，在某些文章里，也給出了一些理論上推得的結果，這些理論上的探討，詳細闡述了我們對於壓延各種形狀的零件時的變形性質的概念，并可解決一些實際問題。

對於最近在一些工業部門中正在採用的一種較新的工藝過程——拉彎，也進行了一部分工作。根據工作中的理論及試驗研究，在選擇進行這一過程的主要工藝參數方面，提出了一些建議。

論文中的一些資料絕不敢認為完滿無缺的了，但是，這些資料仍可作為使上述領域中的理論及實際工作進一步改善的基礎。

目 录

前言.....	I
1. 金属板料的加热深压延.....	1
2. 低碳钢和黄铜板料的凸缘加热深压延.....	24
3. 加热压延时凸缘稳定条件的特点 与可变压边力的效用.....	34
4. 空心件深压延力的确定.....	59
5. 形状复杂工件深压延过程的研究.....	74
6. 盆形件加热压延的毛料外形计算和确定方法	105
7. 拉弯过程工艺参数的确定	111

• 金屬板料的加熱深壓延

金屬板料的深壓延乃是一種最為普遍的金属壓力加工法。冲压設備的生產率高，可以獲得尺寸足夠精確而形狀又很複雜的零件，以及在生产过程機械化和自動化方面的有利條件，都使得深壓延成為一種極為先進的工藝方法。在許多情況下，如以深壓延法製造的整體冲压件來代替鉚接、焊接、鑄造或金属切削機床加工出的零件和構件，無論是在工藝方面或是在經濟方面都是有利的。

蘇聯的工程師和學者，為了滿足生產上的日益增長的需要，正在繼續發展深壓延的理論，並使深壓延的實際工作不斷改進。近年來進行了一系列的研究工作，這些工作，對深壓延工藝性的改進以及新牌號冲压金屬的應用都已起了很大的作用，同時，有了這些工作，也才有可能擬定和應用某些新的工藝過程。

直到目前為止，只是對於由一道或幾道工序完成的對稱零件的深壓延，研究得最為全面和完善。方形及矩形零件的綫壓延研究得較少，而盒形件以及較複雜零件的深壓延方面的研究工作就作得差不多了，而且這些工作大部分只涉及第一道工序。

同時，在生產中，經過幾道連續工序來製造非對稱件，困難也是很多的。如果在計算必需的工序數目和確定半成品的中間尺寸及形狀等方面，缺少可靠的，經過驗證的數據和資料，那么就勢必會在使用過程中，過多地修正已經設計好了的工藝過程，修改模具構造並引用附加的模具，這樣，就延長了生產準備的周期，增加了零件的成本。在許多情況下，如果應用多工序壓延無效，就不得不用焊接或鉚接來代替整體冲压零件，這樣就必然會增加零件製造的勞動量，降低零件的使用性能。

由於上述原因，同時還考慮到深壓延過程需要大量的模具，

这样就在板料冲压方面的专家们的前面提出了一个极为迫切的任务，那就是：除了使现有的深压延法进一步完善以外，还必须寻求一种新的更为先进的方法，这种方法在一套模具中就能得到很大的变形程度，并可保证大多数零件只须一两道工序即可制成。

分析大家所熟知的，用以决定材料单位塑流压力的基本方程式，即可确定强化压延过程的途径。当外力到达最大时，该方程式有以下的形式：

$$p = (\sigma_1 + \sigma_T)(1 + 1.6\mu) + \sigma_r, \quad (1)$$

式中： σ_1 ——突缘材料变形抵抗力所产生的径向拉应力（理想应力）；

σ_T ——因压边力而产生的单位摩擦阻力；

σ_r ——由于在凹模进口处的弯曲而产生的单位抵抗力；

μ ——摩擦系数。

压延毛料，就其应力-应变状态的性质可分为以下几个主要区域：

i 变形区：（突缘）。此处材料向凹模洞内移动，并受到很大的应变。该区各部分的变形程度，决定于凹模孔的形状与突缘的宽度。

ii 传力区（垂直壁）。由凸模经该区传过很大的力，以克服突缘的材料变形抵抗力、摩擦阻力、凹模进口边沿的弯曲抵抗力等。

iii 小变形区（底）。凸模圆角处的摩擦力阻止了该区材料的移动，因此该区变形不大。

突缘的变形程度，决定了压延零件的高度，并受着垂直壁上最弱（危险）断面的强度的限制。

由凸模传来的力，在零件的壁部产生了拉应力，这个拉应力等于按方程式（1）求得的单位塑流压力。

如果假设一种理想情况：当毛料在压边及凹模进口边缘移动时摩擦系数等于零（ $\mu = 0$, $\sigma_T = 0$ ）并且 $\sigma_r = 0$ ，那么，筒壁上

的应力就只是因突緣金屬变形抵抗力而引起的了，亦即： $p = \sigma_1$ 。

理想拉应力的最大值 $\sigma_{1 \max}$ 可以通过压延比 m ，强度极限 σ_b ，以及表示金屬应变刚强度的系数 k_1 与 k_2 来确定 (1)。

$$p = \sigma_{1 \max} = k_1 \sigma_b \left(\frac{1}{m} - k_2 \right)。$$

当应力 $p = 1.15 \sigma_b = k_1 \sigma_b \left(\frac{1}{m} - k_2 \right)$ 时，筒壁即在危險断面裂开。

从上式中，即可确定理論的极限压延比。Л. А. 沙夫曼的計算表明，塑性最好的材料（低碳鋼，鋁，銅）其压延比等于 0.4。

这一 m 值說明，在理想条件下，亦即在不考虑有害阻力的情况下，冷压延的极限变形程度。如考虑到这些不可避免的有害阻力，这些材料的极限压比数即将增至 0.5。当在生产中冲压上述材料时，就是应用这个压延比的。

如果假設第二种理想情况：此时，变形抵抗力为零，那么筒壁所傳的力，将仅取决于一些有害阻力。在这种情况下，理論极限压延比将降至 $m \approx 0.1$ ，这个值即相当于实际压延比与第一种情况下的理想极限压延比之差。实际上变形抵抗力不可能降低为零，并且理論压延比将主要取决于危險断面的极限强度与突緣材料变形抵抗力之間的比值。如果这一比值等于 1.5，那么在一般压延情况下，理論压延比将不等于 0.4 而等于 0.2。^①

因此，依靠减小有害阻力（尋求有效的潤滑剂，改进模具构造）以强化压延过程，实际上不可能将压延比降低到低于理論极限值 $m \approx 0.4$ （此时 $\mu = 0$ ； $\sigma_2 = 0$ ； $\sigma_3 = 0$ ）。

依靠减小突緣金屬的变形抵抗力（ $\sigma_1 \rightarrow 0$ ）以强化压延过程是很有效的。强化压延可以大大降低压延比，从而大大地减少了必需的压延工序数目。危險断面强度与突緣变形抵抗力之間的有利比值，可以通过温度的合理分布得到保証。而这可用加热突緣同时冷却压延零件的筒壁的办法来达到。某些已經出版的加热压延方面的著作^②，証实了关于在一道工序中可以得到很大的变形程度的結論。但是，这些工作大部分只涉及圓筒的压延，自然也就

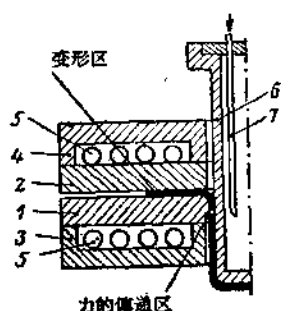


图 1 加热压延的模具

1—凹模；2—压边；3—凹模加热器；4—压边加热器；5—电热管；6—凸模；7—进出水道。

模而使毛料受到冷却。

不能全部说明加热压延的优点。

根据以上的原因，莫斯科航空工艺学院（MATH）冲压实验室全体人员进行了由各种材料压延板件的实验研究，压延件有圆的、长方的以及更复杂的平面形状。

压延试验所用的模具，其压料板与凹模用电阻加热器加热，凸模用水冷却（图 1）。毛料突缘处于凹模与压边的加热表面之间，受到加热作用，随着向垂直壁的转弯过渡，依靠将热量传至凸

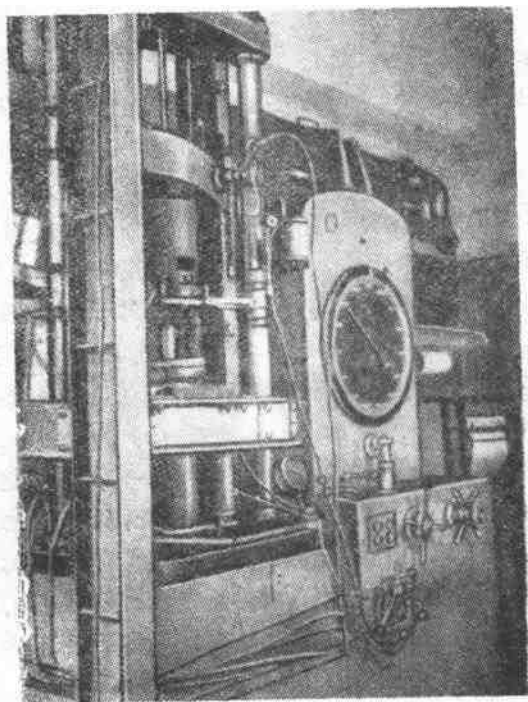


图 2 液压试验机

大部分試驗模具的凹模的圓角半徑取為材料厚度的 6 倍。在壓延溫度下，凸凹模之間的間隙為材料厚度的 1.1~1.2 倍。

突緣壓邊利用氣枕。壓邊力根據在壓延件筒壁不發生皺紋的條件來選擇。

主要的壓延試驗都是在 30 噸液壓試驗機（圖 2）上進行的，機床工作橫梁的速度為 15 公分/分。採用混有石墨粉的“瓦泡爾”（Варор）* 油，作為冷壓延及熱壓延時的潤滑劑。

1. 最有利的變形溫度

已經確定，最重要的強化深壓延法可以在採用加熱突緣，同時冷卻壓延零件筒壁的情況下得到。隨著溫度的增高，突緣變形抵抗力與被冷卻了的危險斷面強度之間的比值也變至一定的極限，在這個極限值之下，可以得到較高的變形程度。但是，由於導熱作用，增加了危險斷面的溫度，因而也就降低了危險斷面的強度。因此，許可變形程度隨溫度變化的曲線有着一個最大值。變形程度到達最大值（最小壓延比 m ）時的溫度，即可稱為最有利的變形溫度。

顯然，每種壓延用的合金板料，都有自己相應的最有利的壓延溫度。這種溫度，主要取決於該合金在加熱時突緣與危險斷面的強度與塑性之間的差別。

圖 3 所示為 B95AT, A16AT, A16AM, AM_{LM}, AM, MA1, MA8 等材料的極限壓延比 m 與突緣加熱溫度之間的關係。這個關係是用厚為 1 公厘的上述許多材料，加熱壓延直徑為 50 公厘的筒形件而得到的。圖 3 所示曲線的最小值，按其橫座標即可確定最有利的變形溫度。

在一切情況下，所用的極限壓延比，其值應使壓延件的筒壁變薄不致超過 20%。

* 譯者按：此系一種汽缸用油。

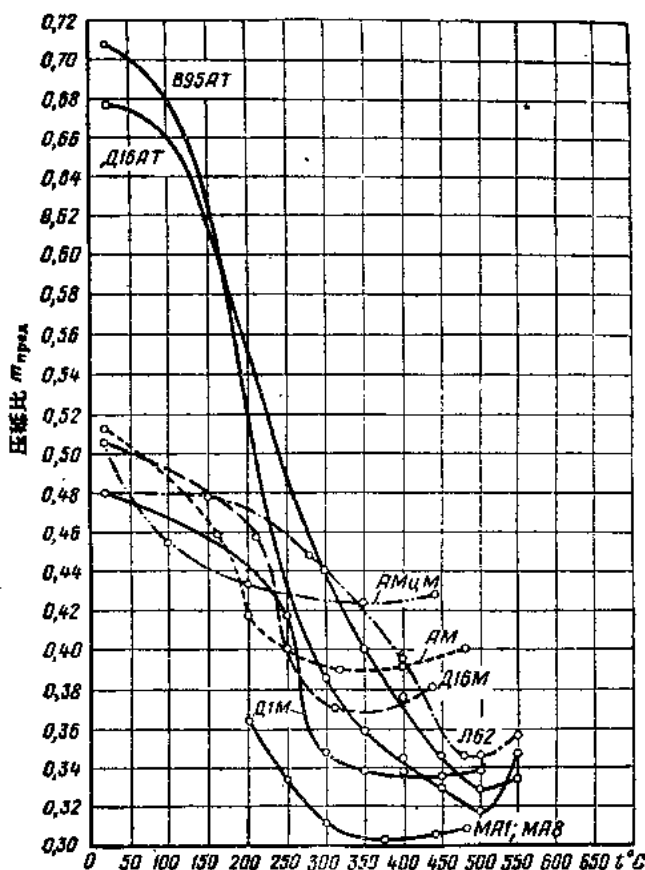


图 3 极限压延比与突缘加热温度的关系

实际上，压延比到达最小值时，并非在某一个确定的温度下，而是在一个很窄狭的温度范围以内。加热压延时，突缘最有利的加热温度范围如下；

В95АТ——480~500°，

Д16АТ——480~500°，

Д16АМ, АМцМ 和 АМ——320~340°，

МА1 和 МА8——360~380°。

应当指出，基于模具的使用条件，压延В95АТ及Д16АТ时，

加热到 $400 \sim 420^{\circ}\text{C}$ 比较合理，此时只是使压延指标略有降低。

根据不同温度下平板试件的拉伸试验确定：最有利的压延温度处于强度极限因温度升高而急剧降低的范围以内。正是在这一范围内，可以十分容易地保证突缘与危险断面强度之间的有利比值。

试验确定：加热突缘的最有利温度，随着零件形状的变化，改变不大。因此，加热压延各种形状的空心零件，可在与筒形件相同的最有利的温度范围内进行。为了比较所得的结果，在全部试验中，除了对零件进行了加热压延以外，也还对零件在室温下，进行过压延。

2. 筒形件的压延

压延筒形件的主要试验所用的构件直径为 50 公厘。

表 1 所示为在室温及最有利温度下压延杯形件时极限压延比 (m_{np})、极限压延高度 (h_{np}) 以及高度与直径之比 $\frac{h_{np}}{d}$ 的试验数据。由表可见，经一道工序后加热压延所得杯件的极限高度直径的 1.5~2.5 倍。在冷状态下，正如实际所显示的那样，这样高度的杯件只有经过 2~3 道工序后才能得到。

表 1

筒形件 ($d = 50$ 公厘) 极限压延比的试验值

材料牌号	在 室 温 下			在最有利温度下		
	m_{np}	h_{np}	$\frac{h_{np}}{d}$	m_{np}	h_{np}	$\frac{h_{np}}{d}$
AM	0.51	38	0.76	0.39	72	1.44
AMцМ	0.50	39	0.78	0.42	59	1.18
Д16AM	0.50	39	0.78	0.37	81	1.62
Д16AT	0.68	16	0.32	0.33	105	2.10
В95AT	0.70	14	0.28	0.32	100	2.20
МΔ1	—	—	—	0.30	128	2.56

为了以提高筒壁危险区断面的强度来增加许可变形程度，必须使这一区域急剧地冷却。因此，如果在模具中进行压延时，除了冷却其凸模以外，还同时冷却凹模的压延边缘（如图4所示），作到这一点是完全有可能的。

这种构造的模具用以压延材料为 ALM，厚 1.5 公厘，直径 140 公厘的筒形件。模具表面镀铬，用肥皂水作为润滑剂。在生产条件下，进行试压，可以得到压延比 $m = 0.93$ ，当模具无冷却边缘时压延比 $m = 0.99$ 。修边后，压延杯件的高度为 270 公厘（图5）。

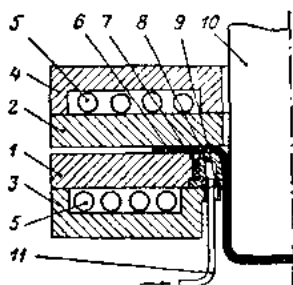


图4 冷却凹模边缘的模具

1—凹模；2—压边圈；3—凹模加热器；4—压边加热器；5—电热管；6—压延件；7—绝热器；8—内有空腔的凹模压延边缘；9—卸料器；10—凸模；11—进出水道。

在这种情况下，与冷压延相比，变形程度增加到如此程度，以致实际上可用一道工序

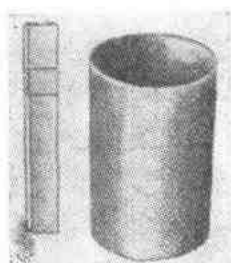


图5 经一道工序后压出的圆筒

来代替 3~4 道工序。

大家都知道，在压延过程中，金属板料的各向异性也显露了出来，在零件的筒壁或突缘上出现了凸耳或花边。加热压延时所发生的变形程度很大，各向异性的坏影响也表现得越发严重，这样就减小了过程的可能性。

由于各向异性的原因，板材的变形抵抗力各个方向是不一样的。因此，毛料突缘在压边下的移动亦不均匀，其中某些部分比其他部分要移动得快一些。这种现象就使得突缘边沿厚度不等，而在厚度最小的地方形成波峰，破坏了过程的正常进行。

正如 M. H. 加列林 (Галелін) * 所提出的那样, 如果采用的压边力随着凸模行程而增加, 那么突緣运动的不均性可以大大减少。当压延力经过最大值以后, 因为可以不必耽心危險断面的断裂, 就有可能大大增加压边力, “压住”正在变厚的突緣边沿, 阻止它移动, 从而保证了其它部分 (凸耳部分) 向凹模洞內流动。

在压延厚 1 公厘直徑 50 公厘的筒形件时, 采用可变压边力, 在最有利温度下, 可以得到以下的压延比:

Al6M——0.345,

MA1——0.23。

可以預料到, 如将可变压边力与冷却凹模邊緣两者并用, 还可得到更大的变形程度。

3. 矩 形 件 的 压 延

已經进行过的試驗表明, 在压延矩形或方形盒形件时, 采用加热毛料突緣的办法, 将比压延筒形件更为有效。

沿着筒壁断面的周长上, 应力分布不均, 乃是盒形件压延过程的特点。在筒形及盒形件上的假想应力分布图, 如图 6 所示。盒形件的拐角处所受的力, 因为直边的存在, 可以部分地减少, 而其压延比就有可能比筒形件的减小一些。因此, 在冷状态下压延盒形件, 工厂实际上使用的压延比如下:

黃銅与銅——0.20~0.30,

鋁 AM——0.30~0.35,

合金 Al6M——0.35~0.45。

加热毛料突緣可以大大提高一道工序的变形程度。这样, 用不变的压边力压延毛料适当的方形件时, 足以保证得到均匀的边高, 即可得到极限压延比与极限高度, 其值如表 2 所示。

* 見本論文集第三篇加列林的論文。

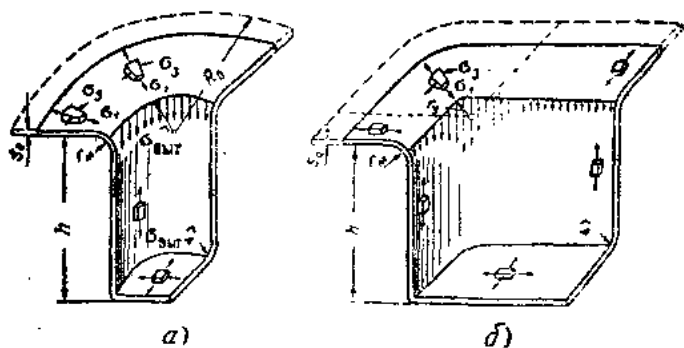


图 6 压延件不同区域的应力状态

a—圆筒件；б—盒形件。

表 2

方形件的极限压延比与极限高度

($a=46$ 公厘，材料厚度 $S=1$ 公厘)

筒壁中心线的 圆角半径 r_y (公厘)	材料牌 号	试验温度 °C	极限压延 比 m_{np}	极限高度 h_{np}	$\frac{h_{np}}{a}$
2.5	AM	20	0.139	26.7	0.58
		325	0.075	69.0	1.50
	AMЦМ	20	0.134	28.0	0.61
		325	0.078	66.2	1.44
	Д16АМ	20	0.125	31.3	0.68
		325	0.072	72.7	1.58
	МА1, МА8	375	0.040	125.5	2.73
5.5	AM	20	0.25	27.6	0.60
		325	0.150	69.5	1.51
	AMЦМ	20	0.229	30.4	0.66
		325	0.154	65.8	1.45
	Д16М	20	0.211	36.3	0.79
		325	0.135	79.0	1.72
	МА1, МА8	375	0.083	133.0	2.89
10.5	AM	20	0.390	29.0	0.63
		325	0.238	70.0	1.52
	AMЦМ	20	0.362	31.3	0.68
		325	0.244	67.2	1.46
	Д16АМ	20	0.318	40.5	0.88
		325	0.213	83.7	1.82
	МА1, МА8	375	0.141	141.3	3.06

压延矩形件的試驗結果載于表3。图7所示为加热压延各种合金所得的矩形件的极限高度。图8可用以比較在室温下及最有利温度下压延 Al6M 及 Al4M 的工作所得的极限高度。由举出的数据可見：加热压延所得零件的高度，将比室温下所得零件的

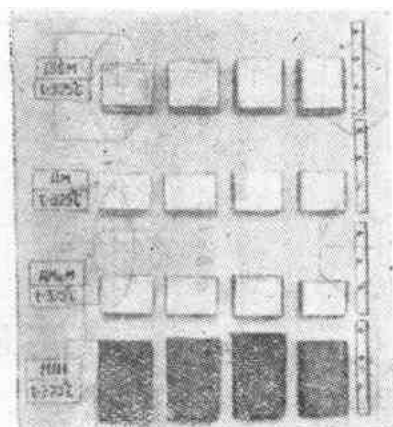


图7 在最有利温度下，經一道工序，由不同材料压出之矩形件
($a=46$ 公厘， $b=92$ 公厘)

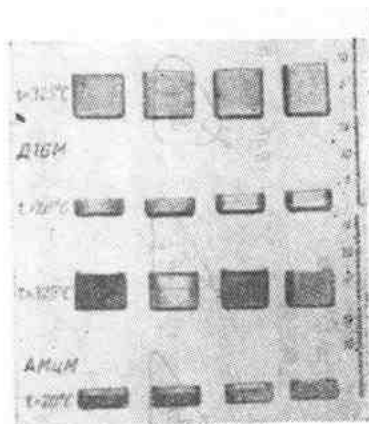


图8 在最有利温度下及室温下压得的矩形件

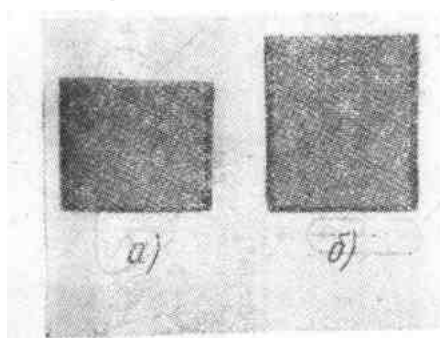


图9 矩形件

a—压边力不变时得到的；b—压边力改变时得到的。

下，加热压延 MA1 合金所得之长方盒形件。

在压延正方及长方盒形件时，材料的各向異性可以因外形的“各向差異”而部分地得到补偿。

高度高到两倍以上。因此，压边力不变时，加热压延的一道工序可以代替冷压延的3~4道工序。采用可变压边力，还可进一步增加矩形件的极限高度：压延 Al6M 时可增加20%，压延 MA1 时可增加30~35%，这样就有可能代替4~5道冷压延工序了。图9所示，为在可变及不变压边力

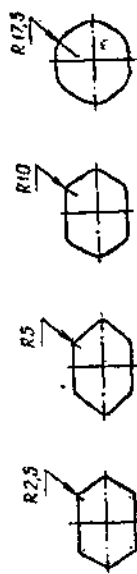
周長

 $\pi = 3.14159$

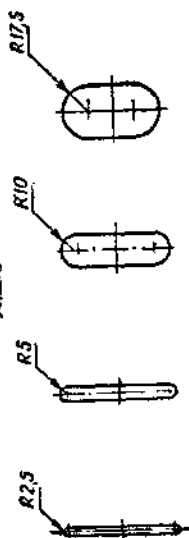
圓角三角形



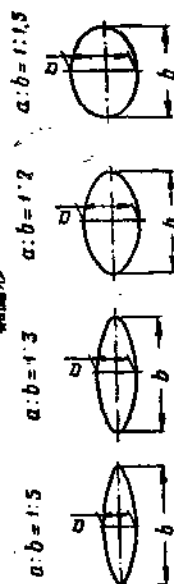
長六角形



長矩形



橢圓形



等邊三角形

