

中国科学院光学精密机械研究所

机械制造论文汇编

1

科学出版社

中国科学院光学精密机械研究所

机械制造论文汇编

1

张作梅 主编

科学出版社

1963

內 容 簡 介

本书包括压力加工、机械强度、材料强度、摩擦磨損、切削和机械制造材料等方面的研究論文 17 篇,是中国科学院光学精密机械研究所和原中国科学院机械研究所几年来进行的研究工作的一部分。

有些論文是关于采用新技术来研究国产材料的結果,如利用放射性同位素研究国产硼合金鋼的可切削加工性;有些論文是結合我国特点来研究材料問題,如无铬与低铬高速鋼、低合金高强度鋼、水輪机叶片材料、竹材塑料等;有些論文是关于新結構、新設備和新材料的研究,特别是其应力分析和材料强度的研究,如水輪机頂盖、叶片和主軸模型的研究,三輥橫向周期軋机的研究,球墨鑄铁的疲劳强度等;有些論文是涉及比較基本的理論性問題,如金属在均匀压缩下的应力应变关系,橫鍛及橫軋中金属的变形与破裂的研究等。

本书可供从事于机械設計和制造的科学研究、工程技术和教学人員参考。

机 械 制 造 論 文 汇 編

1

张 作 梅 主 編

*

科 学 出 版 社 出 版 (北京朝陽門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1963 年 12 月 第 一 版

书号: 2916 字数: 285,000

1963 年 12 月 第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

(京) 0001—3,000

印张: 12 1/4 插頁: 12

定价: 2.40 元

前 言

本书收集的有关机械設計、制造和材料的 17 篇論文是中国科学院光学精密机械研究所和原中国科学院机械研究所几年来进行的研究工作的一部分。

在压力加工方面,“金属在均匀压缩下的应力应变关系”是多年来国内外学者所注意的中心問題之一。作者以比較严謹的實驗得出了金属在綫压应力状态下的应力应变关系,从而澄清了前人工作中一些相互矛盾的結果,为設計压力加工設備和拟訂压力加工规范提供了基本的参考数据。

橫軋近年来在生产上获得了很大的发展和广泛的应用。橫軋的关键在于掌握軋件的变形和中心破裂的規律,因此在“橫鍛及橫軋时金属的变形与破裂的研究”一文中描述了在橫鍛和橫軋中作者进行的系統实验工作,找出了一些变形的分布和破裂的发生和发展規律,对橫鍛和橫軋中金属的变形和破裂机理有了进一步的了解。

“在三軋橫向周期軋机上軋制紡織錠杆毛坯的研究”是在一生产設備上研究了若干主要工艺参数对紡織錠杆毛坯的組織和性能的影响,并对毛坯的主要缺陷进行了分析研究,对指导生产实践有一定的意义。

“三軋橫向螺旋軋机若干参数的研究”主要是针对文献資料上有关軋軋尺寸、軋型設計角、压下系数、金属对軋軋的压力和軋制力矩等的計算公式和决定方法进行了分析,指出其不完善或謬誤的地方,并提了修正意見,或补充推导了計算公式,以供設計制造这些軋机时参考。

“鎳鉻錳无磁性鋼压力加工的研究”主要是针对奥氏体类型鋼在中温下如何提高其机械性能指标而又能在变形抗力最小的情况下进行压力加工。这对于压力加工这一类型的鋼种提供了比較系統的变形抗力和机械性能的資料。

“鋼-鋁基軸承合金双金属板軋制的研究”中除了系統地研究了造成紧密粘結的工艺参数外,对于各种因素对粘結影响的机理亦进行了分析討論。

在应力分析方面的三篇文章都是結合水輪机进行研究的結果。“混流式水輪机工作輪叶片的应力分析”中把叶片作为空間曲杆进行計算,并以单个叶片模型进行了測定,找出了最好的模拟加载系統,为設計新型工作輪和在电站水輪机上測定应力应变时选择測点的位置提供了参考資料。

在“水輪机頂盖模型試驗”中描繪了用有机玻璃主体模型来确定水輪机頂盖的应力分布規律和最大应力和位移的分布区域。为了探討頂盖加强筋上孔的形状及尺寸对应力分布的影响,还进行了平面光弹性模型試驗。这一工作对設計水輪机頂盖有一定参考价值。

为了确定水輪机主軸法兰过渡部分的应力集中及应力分布情况,采用三维冻结光弹

性法可以得到不同过渡形式的应力分布及大小的数据,从而确定最好的过渡形式。因此“水轮机主轴的光弹性应力分析”一文不但可以解决设计上的一个实际问题,同时对于三维冻结光弹性法的应用亦有参考价值。

“疲劳强度若干问题的研究”实际上是三篇文章。第一篇是研究如何利用适当安排孔的位置以改进应力分布及减低应力集中,从而提高零件的疲劳强度。第二篇文章是关于各种情况下——不同表面光洁度、有盲孔及具有强化后的盲孔——球墨铸铁的疲劳强度,结果发现局部强化法对于提高该材料的疲劳强度效果相当显著。第三篇文章是关于球墨铸铁在高温下的疲劳和长期强度的研究。作者发现在 500°C 以下时该材料尚有较高的疲劳强度。在 500°C 时,该材料的同样寿命的疲劳强度要比长期强度高。

在轴承材料方面,“竹材塑料”着重研究了其制备方法和其各种性能以及在轧钢机轴承中初步运转试验的结果。看来这是一种很有希望的轴承材料,可以继续研究和部分推广试用。“25 种铜基减摩合金摩擦磨损性能的鉴定”一文,对于解决我国铜基减摩合金种目繁多、牌号杂乱的问题,提供了系统的参考数据。

“利用放射性刀具研究国产硼合金钢的可切削加工性”一文,除了对这些钢种的可切削加工性进行了系统鉴定外,对于这一新技术在我国的应用也提供了一些实际的经验,特别是用溶化法来进行刀具磨损量的绝对定度对快速精确地确定刀具的磨损是有帮助的。

材料方面的四篇文章都是对新钢种的研究,其中“无铬与低铬高速钢的研究”一文着重研究了 Mn, Si, W 等元素对等温转变特性和淬硬性的影响,最后推荐了两种 W9 和 W15 型材料作为进一步研究和生产试验之用。

“高强度低合金钢的研究”一文中研究了一系列的锰-钛-铜钢,最后得出了一种屈服强度超过 50 公斤/毫米²,焊接后不需热处理的钢种,为重型、高速运转机械的结构材料提供了一种新钢种。

“水轮机叶片材料的研究”目的是想找到几种耐磨损、耐气蚀和有高综合机械性能指标的铸造材料,以供制造水轮机叶片之用。最后得出了 $\sigma_s \geq 55$ 公斤/毫米² 和 $\sigma_b \geq 70$ 公斤/毫米² 耐气蚀性、耐泥沙磨损性和焊接性能良好的钢种,对于水轮机的设计制造均有一定的参考价值。

本书收集的各篇论文,绝大部分均与产业部门的研究机构或工厂有协作关系,我们在研究过程中得到了他们很多的支持和帮助,谨此致以深切的谢意!

本书的各篇论文曾由秦曾志、蔡安源、熊大遑同志参与审定工作。

由于我们水平有限,文中不妥当或错误的地方在所难免,希望同志们提出宝贵意见,以便改进我们的工作。

张作梅

1963 年 3 月 12 日

目 录

前言.....	(v)
金属在均匀压缩下的应力应变关系.....	张作梅 徐有容 (1)
横锻及横轧时金属的变形与破裂的研究.....	张作梅 黎俊结 (13)
在三辊横向周期轧机上轧制纺织锭杆毛坯的研究.....	黎俊结 张作梅 (38)
三辊横向螺旋轧机若干参数的研究.....	黎俊结 (53)
镍铬锰无磁性钢压力加工的研究.....	张作梅、徐有容、徐作华、高子明 (70)
钢-铅基轴承合金双金属板轧制的研究.....	张作梅 林 陶 (80)
混流式水轮机工作轮叶片的应力分析.....	王鍾球、郎奎亨、顾伯伟、陆 巩 (90)
水轮机顶盖模型试验.....	陈楚康、姚俊杰、季鍾霖、常玉兰 (107)
水轮机主轴的光弹性应力分析.....	季鍾霖、严国荣、荆宝全、张卫一 (118)
疲劳强度若干问题的研究	
一、多孔试样的疲劳强度.....	单藩圻、孙鍾英、曾錦光 (127)
二、采用局部强化提高球墨铸铁的疲劳强度.....	单藩圻、周順深、曲向春 (129)
三、球墨铸铁在较高温度下的疲劳强度.....	周順深、单藩圻、曲向春 (131)
竹材塑料——竹层压塑料在轧钢机轴承中的应用.....	胡紹衣 馬长吉 (135)
25 种铜基减摩合金摩擦磨损性能的鉴定.....	胡紹衣 孙致魁 (142)
利用放射性刀具研究国产硼合金钢的可切削加工性.....	熊大遼、何惟誠、赵明晶、邹德春、段淑賢 (153)
无铬与低铬高速钢的研究.....	蔡安源、杜树芳 (163)
高强度低合金钢的研究.....	蔡安源、杜树芳 (179)
水轮机叶片材料的研究(一).....	李 周、虞克勤、康 儒 (189)
水轮机叶片材料的研究(二).....	李 周、康 儒 (207)

金屬在均勻壓縮下的应力应变关系

張作梅 徐有容

摘 要

为了寻找在均匀压缩下金属的应力应变关系,我們系統地試驗了具有不同端面形状的試样。結果找出了一种端面具有凹槽的試样,可以保持試样与压板間的潤滑作用直至 50% 以上的压缩率,因此可以获得均匀的压缩变形。为了証明压缩变形是均匀的,我們采取了 9 种宏观和微觀的觀察方法。这些方法均一致地証明了用上述試样可以获得真正的均匀压缩变形。

采用上述試样,我們成功地求出了鉛、鋁、銅、阿母可鉄、低碳鋼、重軌鋼、碳素工具鋼和球墨鑄鉄 8 种金属,在均匀压缩下的真应力真应变关系曲綫。同时还将这些曲綫与抗张試驗的真应力真应变曲綫作了比較。結果表明:

1. 除球墨鑄鉄外,其他金属的抗张和均匀压缩曲綫均很接近或重合一致(鋁、低碳鋼),但球墨鑄鉄則有較大的差別;

2. 不均匀变形和摩擦力的作用提高了金属的变形抗力;

3. 除鉛外(其变形抗力在压下率为 12% 以上均保持了一定不变的数值),其余各金属的变形抗力均随变形量的增大而增高,但其加工硬化率則有所不同:一般在 25% 压下率以下有較高的加工硬化率,而 25% 以上則硬化率較小而趋向一稳定的数值。

文中还詳細分析討論了前人的結果并对前人結果中的矛盾現象作了解釋。

一、引 論

金属在均匀压缩下的应力应变关系是金属的強度和其塑性的最基本数据之一。它是設計压力加工設備和拟訂压力加工規範的基础。它决定于金属的本質,但亦受外在因素的影响而发生变化。由于在压缩試驗中,試样的端面和压板間存在着摩擦力,因此很难得到均匀的压缩变形,而最基本的应力应变关系便不可得。目前很多強度和压力加工过程的計算只得采用由抗张試驗求得的应力应变关系数据。但是由于縮頸的发生,抗张試驗一般只能在 40% 延伸率之內得到均匀的拉伸变形。此外金属在张应力和压应力作用下的变形抗力是否完全一致,在目前均匀压缩下的应力应变关系尚未求出之前,仍然是沒有解决的問題。因此采用抗张試驗的結果,在压力加工的計算上便受到了一定的限制,而其可能造成的誤差亦无法准确地加以估計。

由于在均匀压缩下的应力应变关系有着重大的意义,40 多年来,各国的科学家在这方面都做了許多工作^[1-7],想出了不少巧妙的办法来求出这一基本数据。不过前人的工作絕大多数只限于从外表或宏观上来观察变形是否均匀一致,而实际上在試样的內部或在微觀結構上則变形不一定均匀。例如 Siebel 和 Pomp 的錐形压板法^[4]和 Rummel^[1],

Meyer 与 Nehl 的三迭試样法^[3] 便已經被証明了^[7,8] 沒有得到均匀一致的变形。此外 Sachs^[2], Cook 和 Larke 法^[6] 以及同一类型的 Шофман 法^[11] 是由极不均匀变形的实验数据外推出来的,因此其可靠性是值得怀疑的。Taylor 和 Quinney 的方法^[5] 在压下率約 36% 的范围内便需要停止試驗和把試样重新施加潤滑剂 30 余次之多,不但手續麻煩,而且如是多次間歇地試驗得出的結果与一次連續变形所得的結果是不一致的^[12],而其試样端面摩擦消除的效果亦只是凭外形的判断来决定的。

由于前人工作中並沒有充分証明其压缩变形是真正均匀一致的,因此不同科学工作者所得結果中存在的矛盾便无法解决。例如, Cook 和 Larke 的結果表明:消除摩擦影响后的压缩应力应变曲线是在沒有消除摩擦的曲线之下,即摩擦力和不均匀变形的效果增加了变形中金属的抗力。而 Polakowski 的結果^[7] 則适得其反,即消除摩擦影响后的应力应变曲线較未消除摩擦的曲线为高,亦即摩擦力和不均匀变形減小了变形中金属的抗力。

由上可見,虽然前人在这方面已經做了不少工作,但是我們还没有理由相信他們已經找到了在均匀压缩下金属的真应力真应变关系。問題的关键在于寻找一种切实可靠的方法以消除試样与压板間的摩擦,而同时还須要进行一系列的宏观和微观的观察以証明試驗确实是在均匀压缩之下进行的。

为了寻找金属在真正压缩变形下的应力应变关系和澄清前人結果中的矛盾現象,我們在 Суяров 等人^[9] 的工作基础上进行了研究。在 Суяров 等人的工作中並沒有詳細論述最好的試样尺寸,同时亦缺乏系統的实验結果,因此我們試驗了試样端面具有不同形状和大小的凹槽以求其最合适的形状和尺寸。本文着重叙述在常温和低速下的研究工作及其結果。目前这一工作正在向着高温和高速方面进行研究。本文中所述的工作仅是这一系統研究工作的一部分而已。

二、試样和試驗經過

为了确定消除摩擦效果最好的試样,我們試驗了端面具有螺旋槽、圓弧面槽和普通的整体凹槽三种試样。結果表明最后一种試样有最好的效果。这种試样的最好凹槽尺寸如

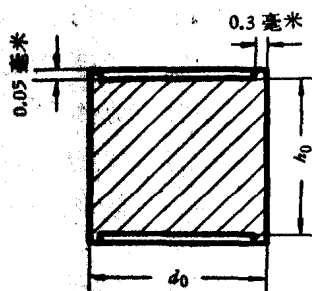


图1 均匀压缩試样

图1所示。这种凹槽可以有效地保持压板与試样間的潤滑作用直至一次連續变形为 50% 以上,因此只須把端面重新切削一次至二次凹槽便可以达到 90% 的压缩率。由于凸边很小,仅 0.05 毫米高,在压下率的計算上引起的誤差很小,可以略去不計,而凸边的寬度亦很小,仅 0.3 毫米,因此試样的全部端面均为潤滑油所充滿,有效地消除了与压板間的摩擦。

試驗是在 50 吨 Amsler 万能材料試驗机上进行的。一共試驗了鉛、鋁、銅、阿姆可鉄、低碳鋼、重軌鋼、高碳工具鋼和球墨鑄鉄 8 种金属。試样的化学成分、大小和处理情况如表 1 所示。試驗速度全部保持在 1—2 毫米/分,潤滑剂一律采用了猪油。

表 1 試样的化学成分、尺寸和处理情况

材 料	化 学 成 分, %					試 样 尺 寸, 毫 米			处 理 情 况
	C	Mn	Si	P	S	高 h_0	直径 d_0	h_0/d_0	
低 碳 鋼	0.189	0.5	0.2	0.026	0.034	20	15	1.33	850℃保温半小时, 空冷
重 軌 鋼	0.66	0.84	0.246	0.009	0.037	20	15	1.33	828℃保温半小时, 炉冷
碳素工具鋼	1.11	0.28	0.22	0.008	0.001	20	15	1.33	770℃保温半小时, 炉冷
球 墨 鑄 鉄	3.4	1.88 2.3	0.56 0.65	0.073 0.083	0.006 0.008	20	15	1.33	石墨化处理
鉛	純度 98.55					15	15	1.0	鑄态
鋁	純度 99.94					20	15	1.33	400℃保温半小时, 炉冷
銅	純度 99.96					20	15	1.33	700℃保温半小时, 炉冷
阿 姆 可 鉄	純度 99.36					20	15	1.33	1,000℃保温半小时, 炉冷

为了把压缩試驗結果与拉伸变形下的应力应变关系作比較, 我們在同一試驗机上进
行了上述各种金属的抗张試驗。試样的尺寸为直径 10 毫米、标距 50 毫米, 試驗速度为
1—2 毫米/分。和压缩試驗时一样, 試样的变形是由千分表記錄的。

三、均匀压缩变形的验证

为了验证試驗是在均匀压缩变形下进行, 我們采取了下列 9 种不同的观察方法:

1. 观察試样的外形, 其侧面保持垂直, 并无鼓起現象如图 2 所示。

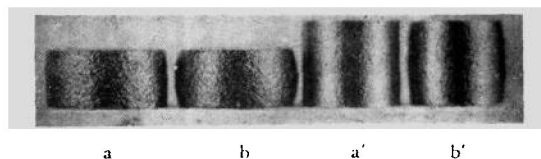


图 2 均匀压缩与不均匀压缩試样外形图(阿姆可鉄)

a, a'——均匀压缩試样, b, b'——不均匀压缩試样。

2. 沿試样的高度上画了 7 条圓周綫, 把試样分为 8 等份。压缩后各等份的高度仍保
持相等, 如图 3 所示。

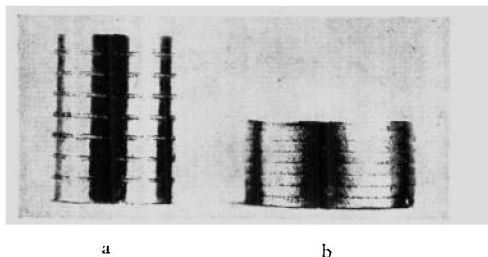


图 3 高度分为 8 等份后的均匀压缩試样

a——原試样, b——均匀压缩 50%后的試样。

3. 观察試样的端面状态, 并无試样与压板互相接触所造成的光滑部分, 而是較为粗
糙, 証明了潤滑是有效的。

4. 在試样的垂直剖面上进行硬度試驗, 其結果如图 4 所示, 均匀压缩后各部位的硬度

值相差甚微。

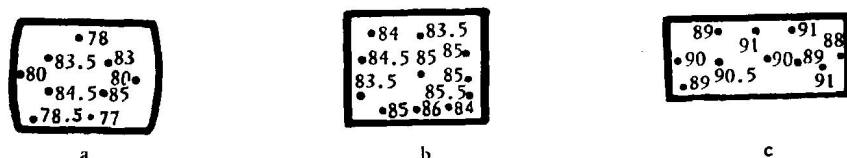


图4 均匀压缩和不均匀压缩试样剖面上的硬度分布图(阿姆可铁)

- a——通常试样, 25%压缩率, 不均匀压缩。
b——具有凹槽试样, 25%压缩率, 均匀变形。
c——具有凹槽试样, 50%压缩率, 均匀变形。

5. 从低碳钢的中板上沿流线的方向切取试样, 均匀压缩后, 将其断面进行腐蚀, 结果表明流线仍保持垂直和平行, 有摩擦力作用时流线则发生严重的歪曲, 如图5所示。

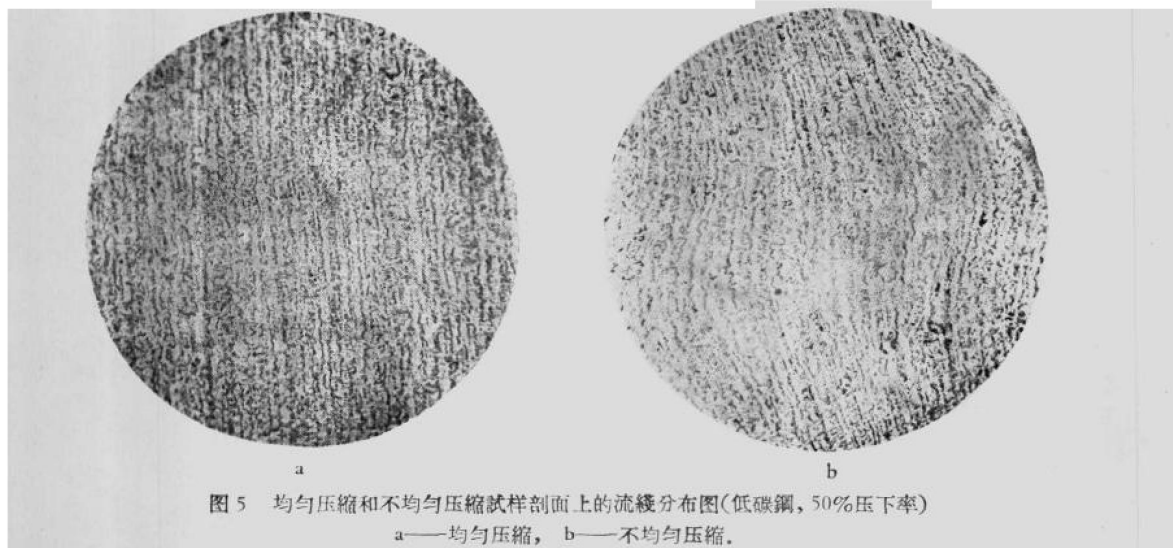


图5 均匀压缩和不均匀压缩试样剖面上的流线分布图(低碳钢, 50%压缩率)

a——均匀压缩, b——不均匀压缩。

6. 将均匀变形和不均匀变形试样的端部、中心和侧面三部位取金相试片, 其结果示于图6。在均匀变形试样中, 各部位晶粒的压扁变形程度很相近似, 而在不均匀变形时, 各部位的晶粒变形程度则很不一致: 端部晶粒的变形最小, 而中部最大。

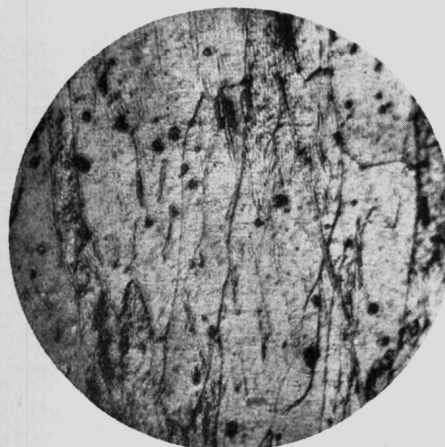
7. 从850℃保温半小时的重结晶退火处理后的阿姆可铁试样上, 如上述三部位切取金相试片以观察其晶粒大小。结果表明, 在均匀变形时, 各部位的晶粒度很相近似, 而不均匀变形时端部有最大的晶粒, 而中部的晶粒最小如图7。

8. 从球墨铸铁的试样上按上述三部位切取试样以观察球墨的变形情况。结果示于图8。由图可见: 均匀变形时, 各部位球墨的变形程度很相近似, 而不均匀变形时, 则端部有最小的变形, 中部有最大的变形。

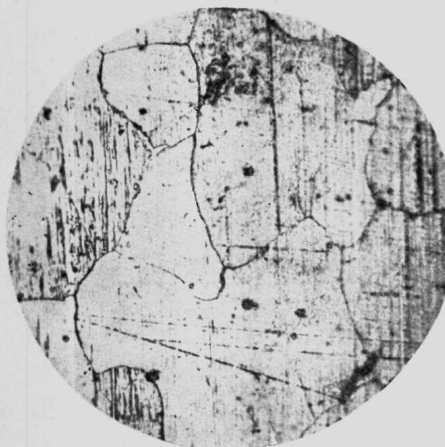
9. 用高度-直径比 $\left(\frac{h_0}{d_0}\right)$ 为0.5, 0.8和1.33的试样, 用消除和不消除摩擦的试验法求得其应力应变曲线, 结果示于图9。由此可见: 消除摩擦后, 不同 $\frac{h_0}{d_0}$ 比试样的应力应变曲线重合一致, 而未消除摩擦的曲线则随 $\frac{h_0}{d_0}$ 比的减小而上移, 充分证明了摩擦力提高了变形



a 端部



b 中部

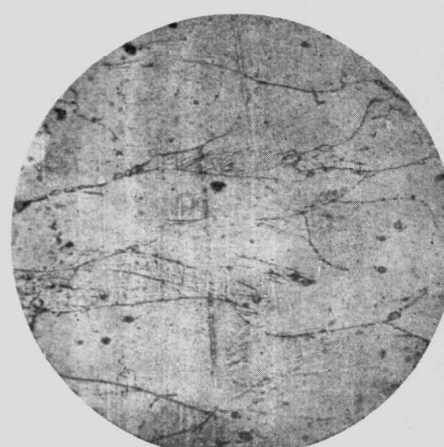


c 側部

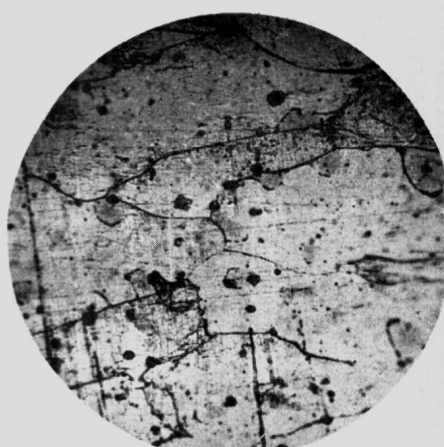
图 6a 不均匀压缩下试样各部位的金相組織, 35 × (阿姆可鉄, 变形率 50%, 用硝酸酒精腐蚀)



a' 端部

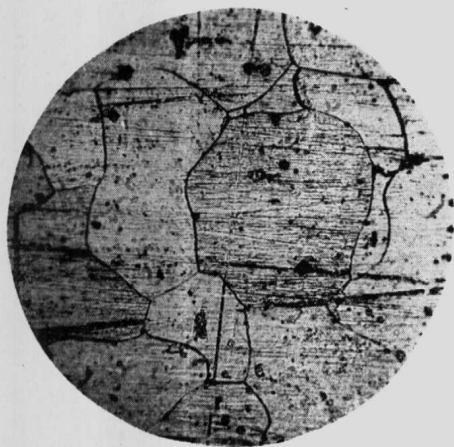


b' 中部

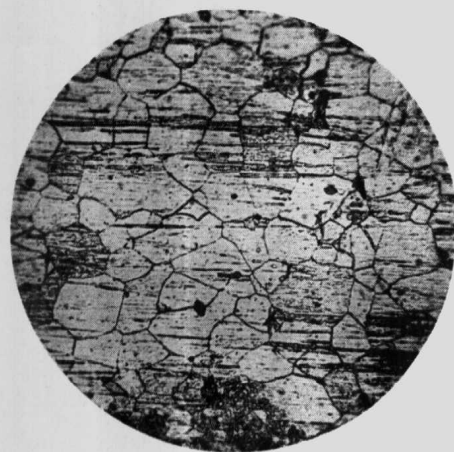


c' 側部

图 6b 均匀压缩下试样各部位的金相組織, 35 × (阿姆可鉄, 变形率 50%, 用硝酸酒精腐蚀)

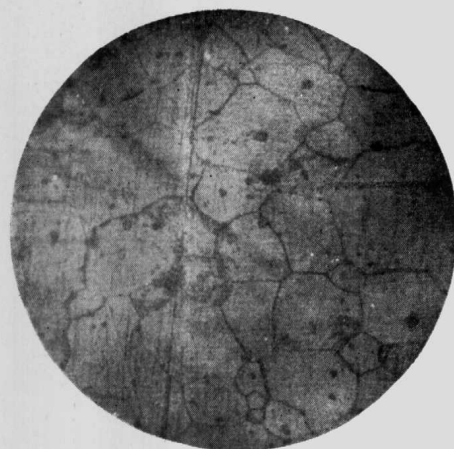


a 端部

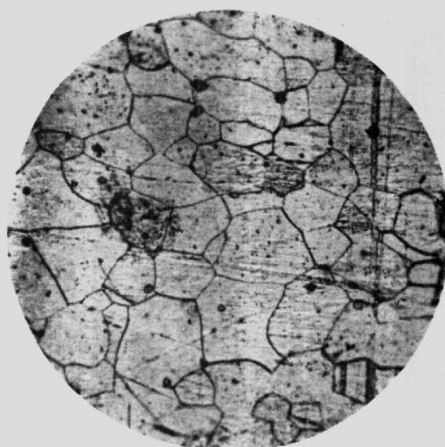


b 中部

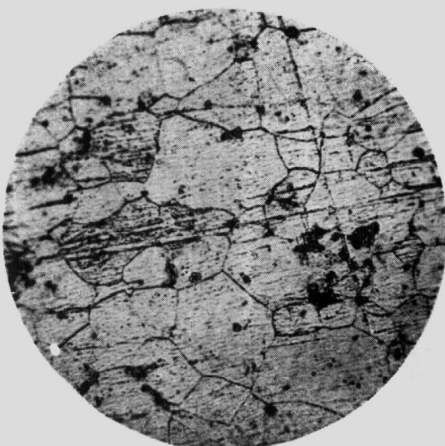
不均匀变形后, 135 X



c 側部

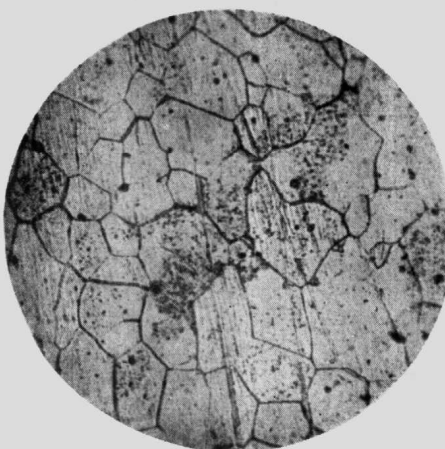


a' 端部



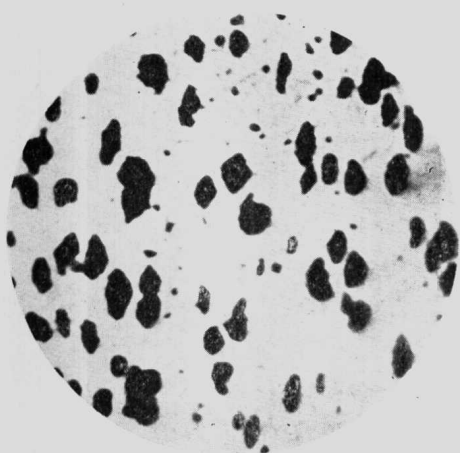
b' 中部

均匀压缩变形后, 135 X

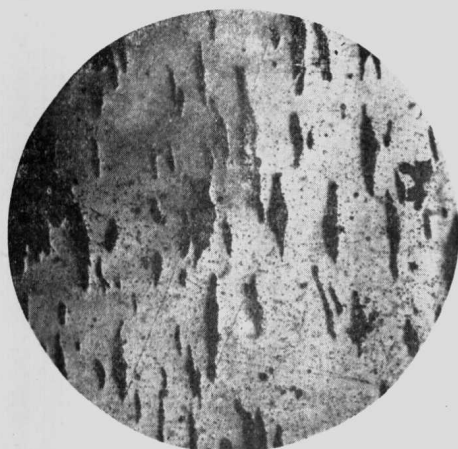


c' 側部

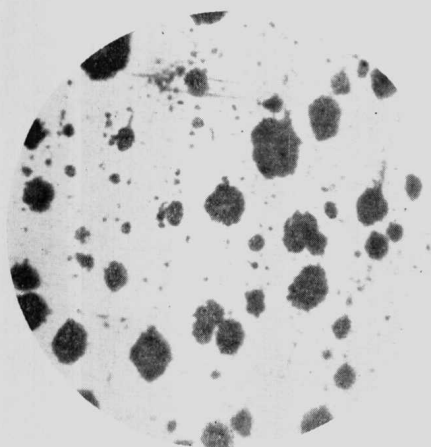
图7 均匀和不均匀压缩后试样经重结晶退火后各部位的晶粒大小分布图(阿姆可铁, 变形率 50%, 经 850°C 保温半小时重结晶退火, 用硝酸酒精腐蚀)



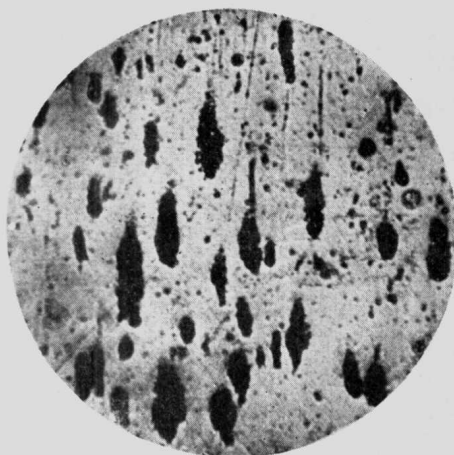
c 側部



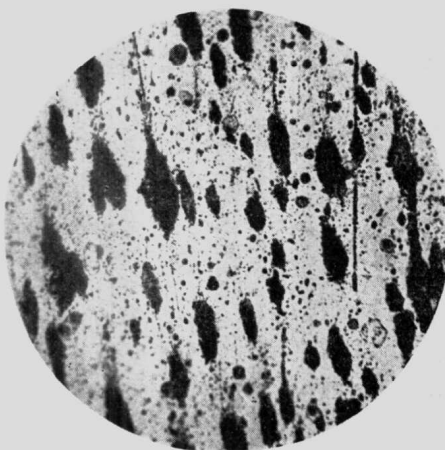
b 中部
不均匀变形, 90°X



a 端部

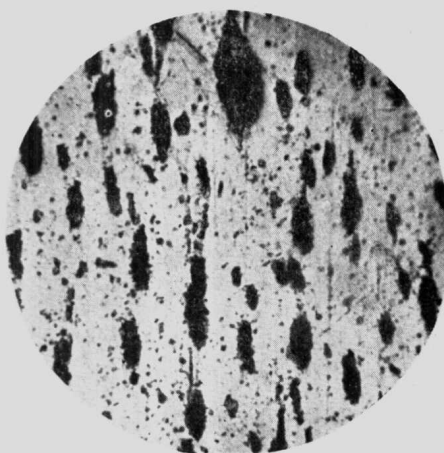


c' 側部



b' 中部

均匀变形, 90°X



a' 端部

图8 均匀和不均匀压缩后球墨的变形情况(球墨铸铁, 变形程度 50%, 未腐蚀)

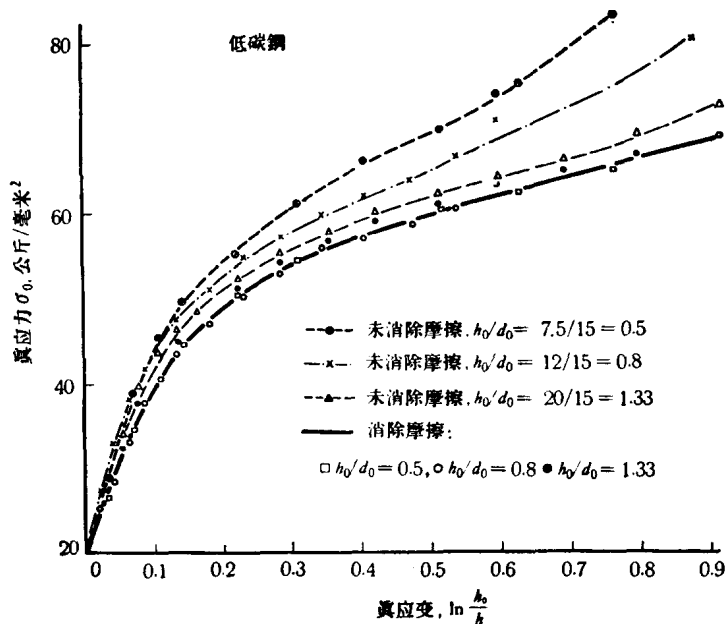


图9 不同 h_0/d_0 比值对真应力-真应变曲线的影响(消除摩擦与未消除摩擦)

抗力,而我們所采用的方法达到了充分消除摩擦的目的。

从上述9种不同的观察方法,可以肯定我們試驗中的压缩是在均匀变形下进行的,其結果可以代表金属在均匀压缩变形下的真应力真应变关系。

四、結果和討論

用各种金属試驗得出的結果示于表2和图10。图表中的数据均为3—5次試驗的平均值。一般在同一条件下重复試驗的結果很相近似。图表中的真应力是从体积不变的条

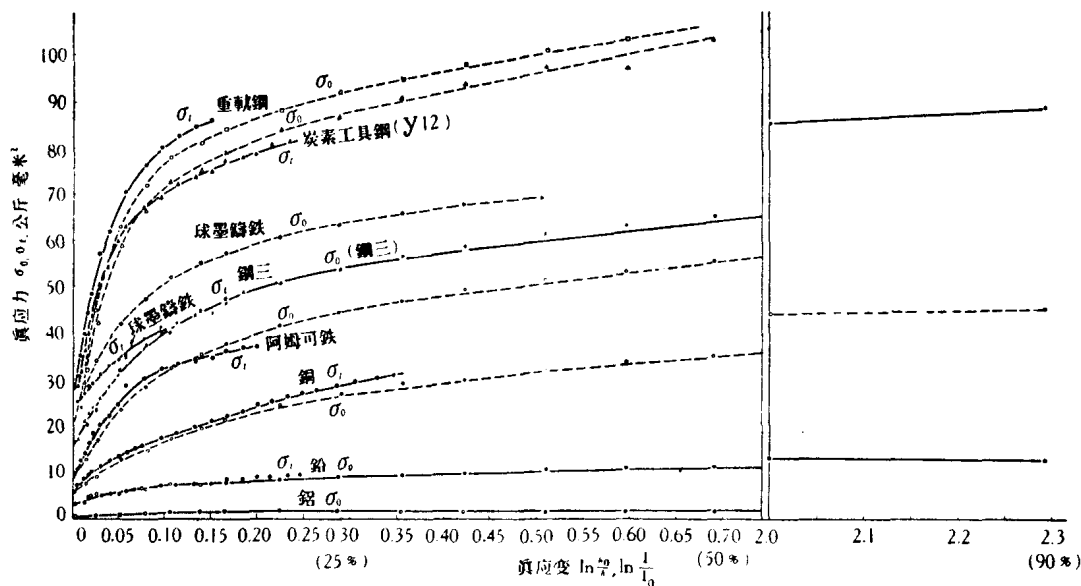


图10 各种金属的抗张和均匀压缩真应力真应变曲线

表2 均匀和不均匀压缩下的变形抗力

变形程度 %	真应变 $\ln \frac{h_0}{h}$	铅		铝		铜		阿姆可铁		低碳钢		重軌鋼		碳素工具鋼		球墨鑄鉄	
		σ	σ_0	σ	σ_0	σ	σ_0	σ	σ_0	σ	σ_0	σ	σ_0	σ	σ_0	σ	σ_0
1.25	0.013	0.4	0.3	—	4.5	8.4	7.71	14.4	13.3	21.8	20.9	32.6	32.1	30.3	29.6	30.2	29.7
2.5	0.025	0.6	0.5	—	5.2	10.2	9.0	18.6	17.2	25.0	23.8	48.6	45.7	44.4	42.8	35.2	34.4
5.0	0.051	1.1	0.9	6.3	6.0	13.9	12.8	25.3	23.8	34.2	32.2	66.2	63.5	61.3	59.9	43.6	42.4
7.5	0.078	1.4	1.2	—	6.4	16.8	14.4	30.5	28.7	39.8	37.8	75.7	72.6	68.8	67.2	49.6	48.0
10.0	0.105	1.7	1.5	7.4	7.0	19.4	17.4	34.1	32.8	43.6	42.0	81.5	78.2	74.1	72.9	53.4	52.1
12.5	0.137	1.8	1.6	—	7.4	21.6	19.3	37.1	35.6	46.4	44.8	84.6	81.6	77.0	75.3	56.7	55.2
15.0	0.164	1.8	1.6	8.3	7.8	23.6	21.4	39.4	37.9	48.6	47.3	87.3	84.4	80.8	79.3	59.0	57.5
20.0	0.223	1.8	1.6	8.9	8.5	26.7	24.4	43.0	41.8	52.5	51.1	91.7	88.8	85.3	83.7	62.6	61.0
25.0	0.287	1.8	1.6	9.6	9.1	29.2	27.0	45.7	44.5	55.3	54.0	94.6	92.0	88.8	87.3	65.0	63.8
30.0	0.354	1.8	1.6	10.2	9.6	31.4	28.9	47.9	47.3	57.6	56.5	97.7	95.3	92.1	91.0	66.7	66.2
35.0	0.422	1.8	1.6	10.7	10.2	33.3	30.2	50.0	49.6	60.0	58.8	100.3	98.8	95.6	94.1	68.4	68.2
40.0	0.510	2.0	1.6	11.2	10.6	34.2	32.3	52.0	51.3	61.9	60.8	103.3	100.8	98.5	97.5	70.4	69.3
45.0	0.597	2.1	1.6	11.7	11.0	36.7	33.9	53.5	53.0	63.9	62.7	106.0	103.5	101.5	97.0		
50.0	0.692	2.3	1.7	12.2	11.4	37.5	35.1	55.9	55.3	66.0	64.7	108.8	106.2	105.5	103.6		
55.0	0.797	2.7	1.7	—	11.9	38.6	37.0	58.3	57.0	68.9	66.5						
60.0	0.915	4.1	1.7	14.2	12.3	40.5	38.0	62.1	59.5	72.5	68.3						
65.0	1.045			15.2	12.9	42.7	39.4	66.8	62.4		70.4						
70.0	1.200			16.7	13.0	49.4	40.2	73.9	65.1		75.0						
75.0	1.383			19.5	13.2	55.3	41.5				75.5						
80.0	1.610			27.4	13.4		42.4				81.7						
85.0	1.900				13.9		44.1				85.9						
90.0	2.300				14.4		46.6				90.2						

注：表中 σ ——未消除摩擦时的变形抗力，公斤/毫米²。

σ_0 ——消除摩擦后的变形抗力，公斤/毫米²。

件下计算每一点相对应的真正断面面积计算得出，真应变则取 $\ln \frac{h_0}{h}$ 和 $\ln \frac{l}{l_0}$ ，其中 h_0 和 h 为压缩试样的原始高度和压缩过程中每一测定点的高度， l_0 和 l 各为抗张试样的原始标距长度和每一测定点时的长度。抗张试验曲线仅取缩颈发生以前的部分。

从图 10 和表 2 可见：

1. 除铅之外，其他金属的真应力真应变曲线均随真应变的增加而逐渐上升，并无水平部分，其中铝和铜在真应变为 0.3（变形率 25% 左右）以下其加工硬化率较高，在 0.3 以上则硬化率很低。阿姆可铁、球墨铸铁和各钢种在真应力为 0.2（变形率 20%）以下其加工硬化率很高而在此真应变值以上则变得较为缓和。铅在真应变为 0.1（变形率 10%）以上均保持一定不变的真应力数值。

2. 铝和低碳钢的抗张试验和压缩试验真应力真应变曲线完全符合一致，铜和重轨钢的压缩试验曲线均低于抗张试验曲线，但相差不大。球墨铸铁则适得其反，其压缩试验曲线高于抗张试验曲线，而且差别较大。阿姆可铁与碳素工具钢的抗张试验曲线开始高于抗压试验曲线，然后二曲线交叉，抗张曲线在比较高的真变形下反较压缩试验曲线为低，但是此二曲线的差值较小。

3. 由表 2 可見,在全部試驗数值中,均匀压缩变形抗力均較有摩擦力作用下的变形抗力为小,随着压缩率的增大其差别亦增大。

4. 为了与前人的工作比較,我們把本試驗的結果与前人的結果列于表 3 和图 11。由

表 3 不同作者所获得的几种金属的变形抗力数据的比較, 公斤/毫米²

金 属	作 者	变 形 程 度, %								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
銅	Siebel-Pomp	18.6	26.5	33.9	35.1	38.3	40.6	—	—	—
	Taylor-Quinney	18.2	26.3	30.8	34.3	36.3	38.1	39.7	40.8	39.4
	Cook-Larke	16.2	24.7	29.3	31.5	33.4	34.5	—	—	—
	Polakowski	19.1	26.7	31.5	34.6	36.3	39.0	42.3	43.1	48.5
	本試驗結果, 均匀压缩 σ_0	17.4	24.4	28.9	32.3	36.2	38.0	40.2	42.4	46.6
	本試驗結果, 不均匀压缩 σ	19.4	26.7	31.4	34.2	37.5	40.5	49.4	—	—
鋁	Polakowski	11.2	12.3	13.1	14.0	15.8	16.6	17.5	19.3	21.0
	σ_0	7.4	8.5	9.6	10.6	11.4	12.3	13.4	14.4	—
	σ	7.4	8.9	10.2	11.2	12.2	14.2	16.7	27.4	—
低 碳 鋼	Polakowski	51.5	62.0	68.5	73.4	78.0	83.3	89.3	96.5	103.1
	Шофман	50.0	60.0	64.0	70.0	72.0	73.0	—	—	—
	σ_0	42.0	51.1	56.6	60.8	64.7	68.3	75.0	81.7	90.2
	σ	43.6	52.5	57.6	61.9	66.0	72.5	—	—	—

此可見,在銅的結果中, Cook 和 Larke 的結果有最低的数值。我們均匀压缩变形的結果在压缩率为 70% 以下与 Taylor 和 Quinney 的結果很接近。Polakowski 的結果在压缩率为 60% 以下与我們未消除摩擦的結果很接近。

分析了上述結果可見:

1. 重結晶温度为室温附近的鉛在均匀压缩变形时, 其变形抗力保持了一定不变的数

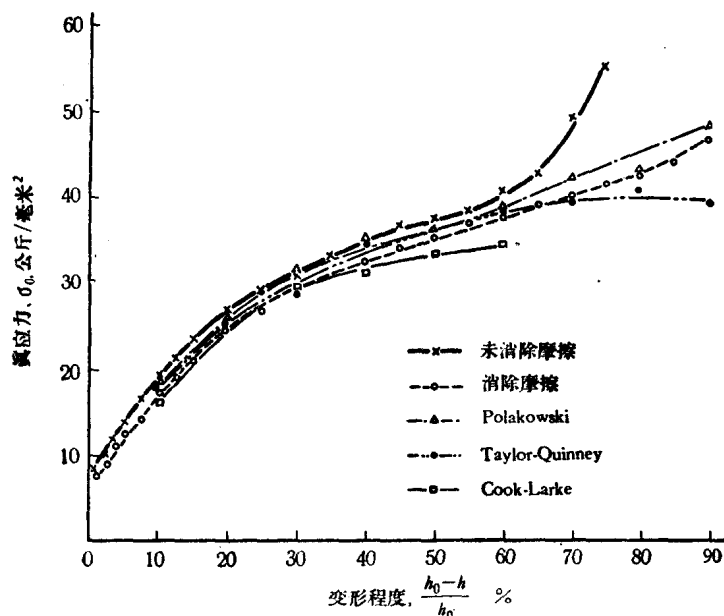


图 11 不同作者所得的銅的应力-应变曲綫比較图

值,这可能是由于加工硬化和重結晶过程得到了平衡之故。在其余的金属中則变形抗力随变形量的增加而增加,不过开始时加工硬化率較高,压下率为 20—25% 以上則加工硬化率有較低的数值。由于这些金属的重結晶温度均远高于室温,这些曲綫便真正代表了这些金属在均匀压缩下的加工硬化特性。

2. 在张应力和压应力作用下,鉛和低碳鋼的真应力真应变曲綫在实验所及的范围內是完全符合的。銅、阿姆可鉄和碳素工具鋼的两种曲綫相差不大,但球墨鑄鉄最大的差别。由是可見,基体比較均匀一致的金属和合金,其抗张和抗压的应力应变关系是很接近的。至于基体組織較为复杂的金属如球墨鑄鉄,則由于石墨球在基体中可能起着切口和应力集中的作用,因此对张应力和压应力的反应便有所不同^[10]。

3. 均匀压缩变形的抗力比較有摩擦力作用时为小,尤以 $\frac{h_0}{d_0}$ 比較小时为甚(见图 9)。由于摩擦力的作用造成了三向压应力体系,提高了金属的变形抗力,因此在均匀压缩下有較小的变形抗力是合理的。在所有試驗过的金属中以鉛的消除摩擦效果最为显著,在全部試驗过程中均匀变形的曲綫,均在有摩擦作用下的曲綫之下,如图 12 所示。

4. 我們求得均匀压缩变形下的真应力真应变曲綫可用于考查前人的結果、同时亦有助于澄清前人結果中互相矛盾的现象。Polakowski 的試驗,由于其試样端面的摩擦并没有完全消除,故有可能获得偏高的数值。而 Cook 和 Larke 的試驗由于采用了外推法,便很可能获得偏低的結果。

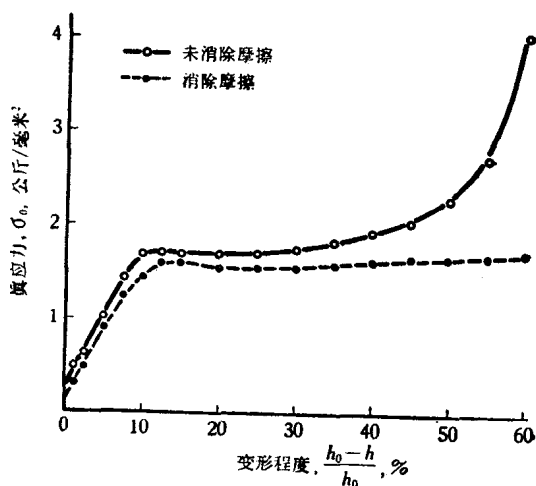


图 12 鉛的真应力-变形程度曲綫
(消除摩擦与未消除摩擦)

五、結 論

1. 采用了 9 种宏观和微观的观察方法,我們充分証明了端部具有本文中所描述的凹槽的試样可以得到均匀的压缩变形,得出金属在均匀压缩下的真应力真应变关系。

2. 本研究工作中求得的真应力真应变曲綫真实地反映了各主要金属在压缩变形下的本质:例如其在低速和室温下的加工硬化特性等,除鉛之外所有金属都表现了随着变形量的增加变形抗力亦不断地增加,不过其加工硬化率在压缩率为 25% 以下有較高的数值,在 25% 以上則硬化率較小而趋向一稳定的数值。

3. 除球墨鑄鉄外,其他金属的抗张和均匀压缩曲綫均很接近或重合一致(如鉛和低碳鋼),但球墨鑄鉄則有較大的差别。这反映了基体較为均一的金属对张应力和压应力的反应是基本上相同的,但基体很复杂的金属特别是如球墨鑄鉄中的石墨球可能起着切口和