

金屬壓力加工原理

上 册

(塑性原理部份)

H.E. 斯克羅霍多夫 編
壓力加工教研組 詳



北京鋼鐵工業學院

1956

目 錄

第一章	緒論	(1~8)
第二章	形成物体形狀的各种方法	(9~13)
第三章	力、应力及变形	(14~18)
第四章	变形状态图式和应力状态图式	(19~34)
第五章	金属压力加工各基本过程的特点	(35~45)
第六章	金属的塑性和变形抗力的概念	(46~50)
第七章	超压缩在轧鋼中的应用	(51~56)
第八章	各种加工因素与物体塑性状态的关系	(57~62)
第九章	金属压力加工时的摩擦	(63~72)
第十章	摩擦力对加工物体应用状态的影响	(72~79)
第十一章	加工工具的形狀对于塑性变形物体应力状态的影响	(80~84)
第十二章	塑性方程式	(85~95)
第十三章	体应力状态对于塑性变形物体結構和性能的影响	(96~101)
第十四章	單晶的塑性变形机构	(102~109)
第十五章	多晶金属的塑性变形机构	(110~117)
第十六章	冷金属压力加工和热金属压力加工	(118~126)
第十七章	变形速度对金属冷压力加工和热压力加工过程的影响	(127~133)
第十八章	不均匀变形和残余应力	(134~143)
第十九章	塑性变形的基本定律及其在压力加工中意义	(144~152)
第二十章	金属塑性变形时的压力与功	(153~164)

金屬壓力加工原理

黑色金屬及合金軋制專門化用

第一章 緒 論

金屬壓力加工課程，包括兩個專門化：“黑色金屬及合金軋制”和“鍛造及沖壓”專門化，這兩個專門化彼此間有着密切的聯繫，僅僅在工藝部份和設備部份，有區別。

而與我們有關的，是黑色金屬及合金軋制專門化，

金屬壓力加工教研組，按照專門化的大綱來培養專業人才。“黑色金屬及合金”軋制專門化的金屬壓力加工課程，包括三個主要部份：

1. 金屬壓力加工一般原理；2. 軋制——拉拔生產和3. 鍛造——沖壓生產最後一部份在“黑色金屬及合金軋制”專門化中，只作簡略的研究。

金屬壓力加工一般原理部份中，研究下列一些問題：變形和應力狀態圖式，金屬壓力加工過程的特徵，工具和被變形物體（加工體）間的互相作用，壓力加工和金屬的性能，壓力加工的應力狀態條件，塑性變形分析，塑性變形基本定律，金屬壓力加工時的壓力和功以及其他一些問題。

軋制——拉拔生產部份中研究下列問題，軋制原理，軋鋼車間設備，軋軋孔型設計，軋制生產工藝，軋鋼車間設計及其他。

鍛造——沖壓生產部分中說明下列問題，鍛造——沖壓原理，鍛造——沖壓生產的設備及其工藝。

本課程規定有實驗和課程設計。它們的作用是鞏固理論知識；學習科學研究工作的基本知識，學習設備設計的計算及工藝過程擬定的實踐方法。

金屬壓力加工這門課程與普通技術課程和與之相近的專業課程，有着密切的聯繫，必須很好地理解這些課程，以便深入了解和研究本門課程。我們舉一些例子來說明：數學和理論力學對於計算和了解軋鋼機各機件的相互作用是必要的，材料力學貫穿了本專業課的各個部份；塑性變形原理，軋制原理，設備，孔型設計及工藝學。

軋鋼車間設備部份中，實際上所有的計算，都與材料力學有聯繫。電工學對軋鋼工程師是很重要的，這是給我們掌握軋鋼車間電氣設備方面一些知識的課程。金相學和熱處理這門課程對軋鋼工程師也有同樣的重要性，這門課程使軋鋼工程師能夠正確規定加工規程，得出某種金屬結構，從而得到某一種質量的成品，避免這樣的廢品，如：過熱，過燒，白點等等。這些都可以用以下的例子說明，如決定兩種鋼號的加熱規程及軋制終了溫度，其化學成份如下：

0.4% C; 0.7% Mn; 0.3% Si,

1.0% C; 0.7% Mn; 0.3% Si.

我們就要研究鐵——碳平衡圖，並試着解決這個問題。鐵——碳平衡圖中與我們有關的部份，只是圖的左部，而不需要上部及第三次， Fe_3C ，因此我們在圖1中只取我們

需要的部份，而不是詳細的全圖。根據炭含量的第一個近似值，在圖上繪出已知的鋼號。當金屬加熱時。1) 在固相線上開始熔化（以 T_{m1} 表示之）因此任何鋼號在固相線以上加熱是不可以的。加熱的最高限是固相線。2) 但是當加熱到固相線時，就可能有過熱和過燒的現象，因此，加熱溫度應該低於固相線，也就是說低於熔化溫度。實際上加熱的最高限是在 $0.9—0.95 T_{m1}$ 的範圍內

$$T_n = (0.9—0.95) T_{m1}$$

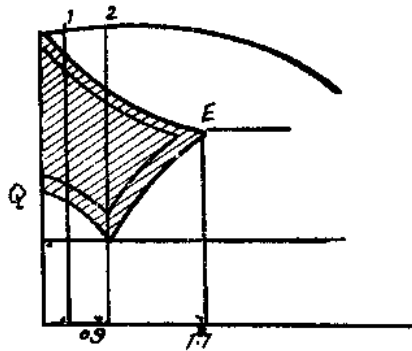


圖 1

加工溫度的下線（以符號 T_{n1} 表示之）應該高於相變開始的溫度 $20—30^{\circ}$ ，因為相變的一瞬間（轉變）金屬的塑性大大降低，並且可能引起破裂。我們規定出加熱的溫度規程和軋制終了溫度，沒有考慮到錳和矽，我們知道這兩種元素對鐵——炭平衡圖的臨界點是有影響的，所以也必需根據這兩種元素將溫度規程加以修正，但是從這些修正中不能得出精確的數據，為什麼？那是因為，鐵炭平衡圖是決定在大氣壓力下的合金狀態，但在壓力加工過程中，會產生很高的壓力——到一千個大氣壓，塑性變形速度也將影響相變。這將會改變鐵——炭平衡圖上線的实际位置，並且所規定的軋制終了規程有時是近似的，也就是說大約的正確。上述幾點情況並未抹殺鐵——炭平衡圖的價值，鐵炭平衡圖是我們的眼睛，而且軋鋼工程師應該會利用它。關於具備全相學及熱處理方面知識的必要性，可以舉出很多的例子來說明。

很好的了解煉鋼方面的知識對我們軋鋼工作者來說具有很大的意義。鋼對我們來講就是原料，我們要把它加工為成品，因此要知道鋼是怎樣煉出來的，是怎樣的一種鋼號，有那一些鋼錠內外結構的缺陷，這些缺陷是怎樣產生的，這就是我們的首要任務。

在學校中所學的全部課程，對於研究金屬壓力加工這門課是很重要的，可以舉出許多例子來證明這一點。可以用以下的話來說明在學校中所學習的這些課程的重要意義——沒有次要的課程，所有的課程都是很重要的，並與金屬壓力加工課程有著密切的聯繫。

我們還要談到一門課程，這門課程在所有高等學校里的人們都要學習，這就是馬克思——列寧主義，深刻了解馬克思——恩格斯——列寧——斯大林的學說和辯證法對於所有的知識部門都是必要的，如：對於工程師，冶金工作者，軋鋼工作者，採礦工作者，和其他方面的工程師、醫生、教師、農業家等等都是必要的。

斯大林同志教导我們說沒有馬克思、列寧學說的知識，沒有馬克思——列寧主義的理論，任何一種科學都會在黑暗中徘徊，它們的各種發現帶有偶然性，需要很多時間，要花費很多的精力和物力。馬克思——列寧主義理論的知識，在任何一个科學和實踐的部門，打開了科學活動廣闊的眼界，使任何的科學部門能夠建立在真正的科學基礎上，並能很快地發展它。在蘇聯科學和技術的發展就是這樣的例子，世界上所有先進的學者都稱蘇聯的科學為先進的科學。

我們舉幾個在金屬壓力加工範圍內的例子。蘇聯科學第一個和最重大的成就在於它深入到許多與金屬壓力加工有關的實際問題中去。另一個成就就是在壓力加工各方面的研究中，科學和技術密切合作。蘇聯學者的著作指出，金屬壓力加工的全部過程，可以看成是彼此不可分割的，可以看作是在一定的條件下，整個塑性變形過程中的局部情況。從可能的應力狀態圖式觀點出發，這些條件的分類及對其互相配合的研究，能夠決定這些圖式的數目，這些圖式包括壓力加工所有可能發生的過程。第一次在世界的文獻中，從這樣的觀點出發給出了已知的壓力加工過程的分析。

蘇聯科學指出應將各種變形圖式和應力狀態圖式都作為一個整體，從一種圖式過渡到另一種圖式。由此能作出結論，並在實際中指出，固定性能的金属(脆性的或塑性的)是根本沒有的金属的性能與加工的條件有關。因此為每一個已知的加工情況去探尋最適合的條件和建立管理這些條件的普遍定律，給一個很大刺激和推進。

在軋制時所規定的正確的應力狀態圖式指出了德國軋鋼工作者基爾哈伯爾格(Кирхберг)的極限理論的荒謬性。基爾哈伯爾格(Кирхберг)斷言最大限度的一次有效延伸率(一道的延伸率)是2，大於2的一次有效延伸率會引起金屬的斷裂。蘇聯的學者們在實際中證明了在一定的條件下可以用大於2很多的一次有效延伸率來軋制金屬。

蘇聯學者指出：壓擠、拉拔及軋制三者的過程，要比鍛造更相接近。由此，也可以認清有規律的循序進行的連續過程的特點與週期性的(鍛造)或間斷性的過程的特點不同。

蘇聯科學在創造應力的普遍理論和應用這個理論到金屬壓力加工過程方面居於第一位。在研究摩擦係數方面，以所得的結論應用於壓力加工的實踐，獲得了很大的成就。蘇聯學者所創造的加工工具和變形物體的理論具有原則性意義和極大的實踐意義。這個理論可以確定作用力的正確圖式和揭露一些圖式的荒謬性，並把一些很大的改進運用到實踐中去。我們舉幾個例子，這樣的例子可以舉出很多，然而就是這幾個例子也足以說明以辯證唯物主義為基礎的蘇聯科學較之資本主義科學的優越性。在本課程中我們將研究金屬壓力加工理論和實踐方面的所有重要問題。將比較詳細地談到蘇聯科學較之資本主義科學的優越性。

俄國和蘇聯的學者們在發展金屬壓力加工的實踐和科學中作出了很大的貢獻。特別是在建立蘇維埃政權以後，獲得的成就更大。這是很明白的，這個時期，也就是在自覺地運用了唯物辯證法以後，蘇聯壓力加工的理論和實踐，才真正的奠定了科學的基礎。

目前甚至還很難近似地估計中國人民在發展金屬壓力加工的科學和實踐中的貢獻，因為僅僅在1949年中國人民才解脫了封建制度和外國帝國主義的枷鎖，自己掌握了政權。還沒有研究過史冊的豐富檔案，這些史冊的研究在發展世界文化，特別是在發展壓力加工原理和實踐中，將供給許多材料並顯示出中國人民的偉大作用。然而我們目前所

具有的材料使我們确信，中国的学者和实践家对科学和技术的发展作出了很大的贡献，首先说明这点的：就是远在几千年前的黄河流域，即现今的山西省和河南省，是中国人民文化基础的发源地。

被人民所发掘的文物，给了我们很丰富的和有意义的材料，这些材料证明了，紀元前很多年，在中国现在的国土上，生活着文化发展的人民。所找到的文物出色地反映了当时高度的技术水平。雕象和陶器的精致形状以及彩色壁画，使人惊奇。国内广泛地发展了手工业生产，根据中国史册記載，在紀元前一世紀中国和卅六个国家通商。在很古的年代里，中国就已经发明了指南針。中国人在天文学和数学方面早就具有了当时的知識，他們发明了火药、造纸，及后来的印刷。在第七世紀中国出版了第一份报纸。

在这样高度的与普遍的文化条件下，在发展了航海业和手工业的条件下，毫无疑问，金属压力加工也应该是得到发展的。有一系列的資料说明这一点。鍛造出現得很早。至今所找到的关于鍛造的明显記載是南北朝时候的（1300年以前），假如說指南針是鍛造的話，則鍛造的开始还要早。宝剑的发明不迟于2800年以前。南北朝御覽一書中說过，嵇康是鍛鉄的一个能手，他成天在自己宅旁的柳蔭下鍛鉄。

在一本古書中引用了皇帝和自己的冶金官員（东冶令）張侯伯的談話，从这段談話中可以看出，当时金属冶煉在中国已得到了发展。皇帝說，鍛劍所需鉄比鑄劍所需的鉄要多，而張侯伯使皇帝确信，制造鋒的利坚固的劍非鍛造不可。这本书告訴我們，在年代遙远的那时，冶金事业已得到了发展。煉鋼过程和金属压力加工已經連系了起来，金属压力加工（鍛造）使金属質量得到改善。当时的詩人刘琨，在自己的詩篇中讚頌鍛造說「何意百煉鋼，化为繞指柔」。极重要的是沉括的冷鍛記載，必告訴我們怎样制造胄甲。沉括写道“青堂羌善鍛甲，鉄色青黑，瑩彻可見毛髮，以麕皮烏酒旅之，柔薄而韌，……凡鍛甲之法，其始甚厚，冷段之，此甲謂之猴子甲”。（以上原文）

沉括說：开始煉时，是在热状态，甲甚厚，並冷段之，青堂羌善于用青黑色的鋼冷段成胄甲，这样的鋼明亮得可以看見头髮（显然和優質鋼相类似）后以麕皮制成之酒涂之，变成柔韌的胄甲，这样的甲称之为猴子甲或疣子甲。

应当指出：猴子甲为少数民族“羌”所发明，猴子甲的質量很高，柔韌而坚固。猴子甲鋼生产工艺是极高明的。热状态（鍛造）下所制成的胄甲，受到冷状态的鍛造，並且进行冷状态压缩原来高度的 $\frac{2}{3}$ 。



h_0 —鋼坯厚度，
 h_1 —成甲的厚度，

$$\text{压下量}(\%) = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{3 - 1}{3} = 66\%$$

图 2

按照现在的观点，为了保证良好的成品質量，压下量必須是75—90%。显然猴子甲的制造接近于现代科学規定的标准范围。

大約 500 年前，宋應星（天工開物）在自己的著作中敘述了制針的方法，其工藝過程按照內容，與現代的热處理過程相接近。宋應星說「針的製造是這樣的，首先將鋼從模孔拉過而成為金屬絲，（拉延的過程）而後將此金屬絲割斷為半成品，並且將它磨光。當針穿孔後，重新打磨，將針置於火爐內而開始慢慢加熱。一邊繼續加熱，一邊裝以泥土鋸末和豆皮並封閉之。為了控制加熱溫度將幾個針之末端露出爐外，當針的末端可以用手打斷時，加熱過程即可結束，並在水中進行淬火。

原文：“凡針，先錘鐵為條，用鐵尺板，錘成細眼，抽過鐵條成線，逐尺截斷為針，先錘其末成穎，用小錘搗扁其本，鋼錐穿鼻，後錘其外，然後入釜，慢火炒熱，炒後以土末入松木、火矢、豆豉三物，罨蓋，下用火燒，留針二三口插其外，以試火候，其外針入手搓成粉碎，則其下針火候皆足，然後開封入水健之”。

這段記載指出，中國當時已知道冷拉拔的方法，並能把金屬壓力加工和熱處理相配合起來。

在熱處理方面，已掌握了控制加熱溫度及時間，並且運用了滲碳的方法。

從這些例子顯然可見，中國冶金事業在古代已達到了高度水平。

在近代，當資本主義在其他國家開始蓬勃發展的時候，封建制度在中國束縛了技術的繼續發展，中國開始落後於其他國家。而特別是在冶金工業方面大大落後於其他國家，而冶金工業是國家工業化的基礎的基礎。

當時俄國，也同樣發生過這樣的景象。十七世紀末葉俄國的冶金工業佔世界第一。俄國輸往歐洲各國和美國的鋼和鐵。當時俄國生產的生鐵比所有西歐各國要多八倍。英國每年由俄國運走三百万普特的生鐵。俄國的生鐵在世界上是很馳名。俄國的鐵板在世界的市場上，就質量而言是無與倫比的。在資本主義發展的時代里，俄國的封建制度是冶金工業繼續發展的枷鎖。在產生資本主義的國家里，由於自由競爭和爭奪利潤，促進了工業的發展。同時引起了改善生產發展技術等等的必然趨勢。而在俄國封建制度排斥了這一切。因為工廠主本身是封建主，他們有權獨佔生產工具，奴役工人和農奴。弗·伊·列寧指出：俄國冶金工業落後於其他國家。是封建社會關係束縛的結果。

到 1913 年。俄國的軋鋼生產水平僅達到三百五十萬噸。軋鋼生產技術水平，和先進的資本主義國家相比是很低的。下面的例子足以說明當時俄國的情況：軋鋼機大多數由蒸汽機帶動；沒有一座現代化的初軋機和連軋機；主要是人工操作，完全不軋優質鋼；軋制車間與煉鋼車間的能力遠不相配合。

金屬壓力加工對國民經濟有着特殊重要的意義。金屬壓力加工和熱處理操作過程的配合，完成了冶金過程的整個週期（工序）。金屬壓力加工是第一環節——是決定着任何國家，整個工業水平的主要環節。在大多數的工業國家煉出的 90~96% 的鋼用於金屬壓力加工（鍛造、沖壓、拉拔、擠壓和軋制）。

現在舉幾個例子來說明：所舉數字，不苛求絕對正確，而只提供一般的對比情況。

蘇聯於 1940 年，將近 93% 的鑄鋼用於各種金屬壓力加工，而用來軋制的（經過軋軋）則佔全部鑄鋼的 91%。

1943 年全世界所用鑄鋼約一億五千六百萬噸。其中一億四千七百萬噸或 94.0% 通過軋軋。

1952年苏联的鑄鋼三千五百万吨，其中三千二百万吨或91%用来軋制。某些生产部門里，金属压力加工产品达到金属成品的95%

铁路运输业	約为96%	汽車——拖拉机制造业	95%以下
航空事业	90%	建筑工业	100%
农业	80%	机械制造业	70%

还可举出其他的例子，但以上所举的例子足以看出这一种工业的重要性。

軋鋼是金属压力加工中規模最大的一种形式。軋制保证了大量生产各种型式产品，与其他方式相比軋制品質量好而价格低。一般說来沒有軋制就不可能生产出所需的大量成品（如铁路鋼軌）。近代軋鋼車間的技术装备是非常先进的，軋制品的种类也是非常广泛的。下面我們来举几个典型的例子。

有的軋鋼机，其装备（全部装备）的重量达到几千吨。傳动工作軋軛的馬达功率有一万馬力（7500匹）。一个工作軋軛就有35吨重。同时有另外一些軋鋼机，它們能够安置在写字台的台面上。整个这样的軋鋼机，一个人就可以把它放在自己的衣袋里帶走。

軋制品的种类极广泛。軋制品有厚达600公厘的鋼板（装甲鋼板），和薄达0.008公厘的鋼皮（8微米）。做火車蒸气鍋爐的圓筒直徑达3公尺（3000公厘）。做外科手术用的針管其直徑只0.25公厘。还有复杂的異形产品如：工字樑、鋼軌、槽鋼、乙字鋼、汽車輪盤。还有週期性断面（如竹节鋼）的型材、齿輪軛、錘鏈等。

軋制生产的特点与其他的金属加工方式相比，在生产过程中廢料很少，金属質量获得了很好的改善。可以說，軋制本身具有所有主要的优点：如大量生产，質地优良，廢料少，成本低等等。生产金属制品的其他方式，其中包括鍛造，冲压和拉延等压力加工方式並不同时具有上述所有的优点。

在现代軋制生产的技术和工艺发展方面，苏联学者和技术員們，作出了很大的貢獻，特别是在苏維埃政权建立后的时期內軋制生产得到了蓬勃的发展。在十六世紀俄国建造了第一批軋鋼机。軋制生产在烏拉尔特别得到了飞速的发展。在这个时期，俄罗斯技术人員作了一系列巨大的改进1724年納尔托夫（Нартов）应用了水輪来傳动軋鋼机，並安置了齿輪机座。

1746年叶果尔·庫士涅佐夫（Егор Кузнецов）发明了連續軋制。这比外国，几乎要早一百年。（連續軋制在英国于1952年才出現）。

1800年发明了著名的烏拉尔洋鉄皮的生产法。用烏拉尔法所得到的鉄皮，具有极大的抗銹性。莫斯科旅館所用的鉄皮，就是在100多年以前軋制出来的，但是象剛剛軋出来的一样。

1843年軋出第一批鋼軌。1895年工長毕多夫（Пятков）在軋制生产的历史上破天荒第一次发明装甲鋼板的軋制法。后来这个发明却妄归功于英国人物郎（Браун）。直到1949年，在艦队记录檔案中发现了这个发明，应该归功于毕多夫。这个发明的專利权怎么会給英国人呢？这是因为沙皇政府的官員不顧毕多夫的反対，就在英国的「咨詢會議」上把这个发明給了那些英国專家請他們提意見，他們就攫取了這個發明。

1885年柴魯宾（Зарубин）創造了用斜軛軋机的軋制。但是这些軋鋼机的发明

直到現在還屬於德國人滿乃斯曼（Маннесман）和美國人阿沙爾（Ассаль）。

在金屬壓力加工原理方面，俄羅斯學者同樣也作了很大貢獻。關於這方面我們在以後講到專業課的各別部份時再詳細介紹。在蘇維埃政權成立以後，工業得到了蓬勃的增長。下面我們來舉些實例。

我們已經講過。在1913年俄國只軋制三百五十萬噸產品。在第一次世界大戰和國內戰爭時期工業幾乎全部被破壞了。1920年在蘇聯只軋制一十四萬七千噸產品。只佔1913年的百分之4（4%）。政權掌握在自己手中的蘇聯人民在共產黨的領導下來開始實現國家工業化。在恢復時期（1929年以前）全部舊的機器開動了。並且還造了十六座新的軋鋼機。在斯大林五年計劃時期軋制生產得到了蓬發展。軋鋼機數目不但是舊有的159座而增到400座。

1940年軋製品達到一千三百万噸以上。這個數字超出1913年數字的2.5倍以上。假如和我們開始發展軋制生產時的水平，就是1920年的水平，比較，那麼要大87.8倍。新的工廠不斷出現，這些廠里裝置着近代化的高度生產率的軋鋼機。自動化也被採用了。1952年軋制水平達到了2700萬噸。這樣發展軋制生產的速度是其他國家所不能理解的，這樣蓬勃的發展的祕密在於人民自己掌握了政權，在蘇聯消滅了人剝削人的制度，蘇聯人民為自己的祖國和自己而工作，他們的工作使全體人民的生活普遍改善。

蘇維埃制度的政治上經濟上的偉大優越性是眾所周知的，現在任何帝國主義也難以誹謗蘇聯了。事實證明蘇聯發展工業的速度要比任何資本主義國家快許多倍。下面就是鮮明的例子：

蘇聯在三十四年內，工業產品量約增高到三十九倍。而在英國產品增加到三十九倍就需要將近162年的工夫。從1929年到1951年蘇聯工業產品增加了十一倍以上，而美國只增加一倍。

金屬壓力加工這門科學的發展獲得了極大的可能性，關於這點我們已經知道了一部份，並且在本課的進行過程中，還有可能聽到。有很多蘇聯壓力加工學者的名字（如巴甫洛夫（Павлов）古布金（Губкин）溫克索夫（Уанксов 等等）你們已經熟悉了。

中華人民共和國成立四年以來，在國家及其發展經濟方面，已經獲得了很大的成就。從1949年到1953年鐵增加了7.5倍，鋼增加了9.0倍與軋製品增加了8.8倍。足可以夸耀的是現在正在進行的141項工業企業建設。

在清末，統治政府想鋪築成渝鐵路，但築了四十年還沒有成功。而中華人民共和國在三年之內就完成了這項任務。中國的軋鋼工作者首次在中國歷史上生產了自己祖國的鋼軌，掌握了薄鋼板的軋制。1953年年底無縫鋼管廠開工了。中國的鞍山鋼鐵公司正在大量生產。

許多英雄人物在解放後的勞動中湧現出來。中華人民共和國有勞動英雄：張明山（軋）李鳳恩（鐵）王凌好（鋼）王崇倫、章玉璽、郝建秀、潘長有等。

工人階級更深入地掌握着技術。工人張明山發明了自動反圍盤，它大大的減輕了人工勞動，是軋鋼生產上的新發現。國家的發展速度將逐年增長，金屬壓力加工也是如此。國家發展的速度需要大量軋制產品，因此當前任務就是要培養大批金屬壓力加工工

程師干部。为了培养有高度业务水平的干部，必需深入研究科学上所积累的金属压力加工知識的宝藏，研究祖国該方面的发展史，关切並了解国家发展的远景。此外，必需与生产保持着密切的連系，学会分析生产过程和在理論上的归納。这就是我們对你們——培养偉大工业上軋鋼工程師的未来教師的几点希望。

專業学习講課总数大約是 290 小时。其中：

金属压力加工原理 92 小时；軋鋼車間設備 70~78 小时；

軋鋼生产工艺学 100~120 小时；鍛造冲压 20~28 小时。

进行研究生課程的过程中，还应该完成：实验 100 小时

課程設計。

和生产实习。

研究班作畢業論文后即告結束。1955年8月为研究生結業期限，包括畢業設計答辯在內。我們定出了很多的工作量，但这还是不够的。研究生应该积极努力地独立工作，以便深入地掌握本專業，並成为这方面有成就的學者。

第二章 形成物体形状的各种方法

物体的形状可以理解为其空间界限，我們更可以理解为其几何外状和大小。

几何外形和大小表明了物体的两种不同性质。物体按其几何外形可能是相同的，而按其大小则可能不相同。例如：两个立方体一个边长是10公厘，一个边长是35公厘。两个球：一个直径是50公厘，一个直径是100公厘等等。

在很多情况下，金属压力加工所进行的只是物体尺寸的变化，而几何形状并未改变。例如拉拔金属丝时，被加工的物体仍保持了原来的形状（圆筒形）和圆的断面。

得到具有一定形状的固体有真各样不同的方法。虽然方法很多，但可旧纳为三类，我們称之为A、B和B。

所有从大质量变为小质量的形状形成方法，是属于A组的。

所有从小质量变为大质量的形状形成方法，是属于B组的。

所有质量不变的形成方法，（也即保持原来的质量），是属于B组的。

A组物体形状形成的方法，只有在如下的条件下方有可能，即使某些数量的物质从已有物体的质量中分出。

可以金属切削加工为为例，刨、铣、旋、钻等等，这就是A组的第一个特点。

A组的第二个特点是所得到的物体的性质几乎不变，化学成分、结构、机械性能以及其他等等都和原来一样，因此A组方法的目的是改变几何形状及大小。

A组形成固体物体形状的方法要产生很多废料，同时需很大功量的耗費（例如金属切削），因此这种方法是很贵的。它的主要缺点也就在此。

B组方法的特点是：

1. 在形成物体本身时，即得到其应有的形状；同时是由小的质量增为大的质量（如木接榫、由各个部份组成的木器皿、各种浇铸、焊接角等）。
2. 没有产生废料的情况。
3. 选择最合适的方式，能够影响到产品的性质。
4. 可以利用象沉淀和结晶等操作过程，得到薄产品。

可以列举出几个利用本组方法形成物体形状的例子：如青铜鑄成的浮雕产品，电解沉淀法等等。

所有金属压力加工的方法都属于B组。

塑性变形是所有压力加工方法的基础，也就是物体能够稳定地改变自己的形状，而不破坏。在质量不变（变多，变少）的条件下，由于物体质点的移动而形成新的形状。

这种形状形成的方法（一般情况下），仅可应用于具有塑性状态和具有变形后能稳定地保持其形状的性能的那些材料，这就是这种方法受限制的地方。

可引用所有的塑性变形方法作为用压力加工方法获得形状的实例，如：锻造、冲压、拉拔、挤压、轧制。

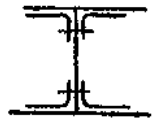


图 3

这种方法有以下的特点。

1. 沒有廢料（不考慮純工藝過程中獲得廢料的原因，如加熱時的氧化等。）
2. 隨成品厚度的減少而成本增加。
3. 加工成品的質量發生很大的改變（結構、機械性質等等）。
4. 這方法是規模的，並具有很大的國民經濟意義。此點在上講中已詳細敘述過了。

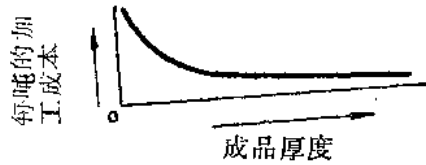


圖 4

我們進一步研究 B 和 B 兩組形成物體形狀方法的幾何例子。

鑄造和金屬壓力加工的比較

鑄造過程就是在熔融狀態固體質量的增長過程。此種方法極為普遍，用此種方法，大量地製造生鐵、鋼、有色金屬、及各種合金的異型產品。這些異型產品，具有各種不同的形狀和尺寸，有時是很複雜的形狀，因而除用鑄造方法外用其他方法根本是不可能得到或者即使可能也是很困難並且耗費很大。

得到極其複雜形狀的物體，是鑄造優越於其他一切方法的主要優點之一。

用鑄造方法形成物體的形狀時，可以選擇最適宜的條件來改善金屬的質量（如溫度、澆注速度、鑄型的狀態等等），但鑄件往往在某種程度上，存在着難以消除的結構缺陷：縮孔、氣泡、不均勻的夾雜、所含元素的成份不均勻、晶粒度不均勻等等。

鑄造組織可以用熱處理的方法改善或改變，但不是常可做到。甚至近代最先進的鑄造法或是再加以熱處理，所得到的結果，也不能達到壓力加工或是壓力加工與熱處理配合使用所事到的結果。

可以肯定地說、在任何的情況下，完美的鑄件是沒有的，理想的鑄造過程，也是不現實的。壓力加工則能改善質量。誠然許多的機件是鑄造出來的，它們並未經過壓力加工，例如機械製造廠的鑄件或其他的機件，並且這些機件不但能工作而且工作得很好；但是如果它們能再經過壓力加工，則將會工作得更好。

無銼軋製

無銼軋製的實質是把熔融金屬經過漏斗流入兩個轉動柱形軋軋所形成的型口，這兩個軋軋平行安裝着，並且用水冷卻。在型口中金屬凝結，然後沿着跑槽進入兩對軋軋中，用這兩對軋軋軋平金屬的表面。在這個過程中把澆鑄與壓力加工連合起來了。

用這種方法可以得到板材與帶材。這種方法的重要性，是在於能夠軋製薄板材，這種薄板材用普通的壓力加工由固態金屬來製造是不可能的，因為沒有足夠的塑性（例如生鐵）。現在在蘇聯用這種方法來製造生鐵及其他金屬的板材，主要是用來製造有色金屬板。

但是這種方法有其重大的缺點，在軋軋表面上所凝結住的金屬殼發生破裂現象，內部液態金屬流出到這些裂口中，在金屬硬殼表面形成了或是與硬殼迭合的或是與硬殼不透的流出物缺陷。在壓制時內部的液態金屬被壓出到板材的表面部份，則表面部份增加了易熔元素。這種現象在蘇聯作無銼軋製的實驗工作時已經進行了研究，發現在軋制合

有 0.19 % 炭, 0.46 % 錳, 0.19 % 矽的鋼时在軋制鋼帶的表层含 炭量为 0.65, 0.40, 0.90%。同时在这鋼帶的中层的含炭量为 0.15, 0.13, 0.22%。

与上面所說的现象进行斗争是很困难的, 这个缺陷暂时在很大程度上限制了合金的无錠軋制。

还有一点必須指出, 軋軋, 跑槽和兩側夾板的工作条件是很困难的, 在很高的温度下进行工作磨損很快。除此之外在操作过程中要耗費很大的力量, 因为鋼帶經過时有很大的摩擦力。

由于有以上所說到的缺点, 暫且还仅限于生产 3—10 公厘厚的鋼板。但是这种方法是很有希望的, 具有远大的前途。

这种方法有下列几方面的优点:

1. 金属的冷却过程与加工产品的主軸相对称。
2. 液相所佔据的結晶器的空間是由上面开口的, 因此当冷却时气体容易跑出。
3. 变形对称于軋件的縱軸。
4. 由于軋軋不停的轉动, 軋軋与金属之間的接触面是經常改变的, 因此就有可能清洁和滑潤軋軋工作的表面。
5. 軋鋼机的机构簡單。
6. 金属切边的廢料与一般軋制比起来是不大的。

所有这些优点說明了这种方法在将来要佔主要地位。现在苏联正进行着广泛的研究, 研究的目的是要消除上面所列举的缺点, 改善操作方法和推广于軋制型材的坯料。

無錠擠壓

通过孔来进行无錠挤压是在于把融熔的金属注入接收器 (圓柱体) 借助外压力 (活塞的作用) 使其向孔中流出而得到棒, 管等等形状的产品。

此法的缺点是工具 (压力机、孔、圓筒) 与热金属接触, 因而容易很快磨損, 並且具有很大的摩擦力和消耗很大的能量。

無錠鍛造

这种方法是很有希望的: 这方法的实質是在于用液态金属充滿压模及由液态进行冲压。用这个法可以使金属很好充填压模, 即使是压模的微小部份; 可以用来鍛接預先放进模子中去的各別部份。这种方法的一个很好的第一种形式就是微量金属的冲压, 把金属用高週波电流直接熔于压力机中。

用電解法製造成品

这种方法在制造薄板材方面是和压力加工互相竞争的。加工件愈薄則压力加工的成本愈高, 在上面我們已經說过了, 这是很明显的, 因此在薄加工件的生产中要消耗比較多的劳动力和能量。

用电解沉淀法制造薄产品要比用压力加工法便宜。除此之外, 电解沉淀法可以制造比較寬的产品而沒有特別的困难。在軋制寬产品时会有很大的困难。

用电解法所制造的产品尺寸之精确程度，不超过为轧制带材所规定的公差范围。

用电解法几乎没有贵重产品的废料。

由上面所说的可以明显地看出，在生产薄产品方面，电解法与压力加工法比较，电解法是合适的。这样的结论在一定程度上也可以推先到双金属的生产方面。制造双金属时电镀法代替了纯机械方法。用电解沉淀法制造双金属的板材和带材就是把任何一种金属由溶液中电镀到先轧好的金属（板或是带）上。制造出来的双金属板（或是带）再轧到所要求的厚度。这种方法要比纯机械法简单和便宜得多。

双金属在国民经济中具有很大重要性。应用双金属可以大为减低建筑物的成本。例如轮船的水下部份是用抗海水浸蚀钢来包住的。在以前水下部份的薄板完全用这种的钢制成的钢板作成。现在大多数是用双金属板。此板由两层组成：与海水接触的外层是由稳定钢制成的（此层较薄，约为总厚度 $\frac{1}{3}$ 到 $\frac{1}{6}$ ）此较厚的内层是由普通的便宜钢制成。

电解法也用来制造薄壁管，此法的实质是在于：在做好的铁棒或易熔金属棒上进行电解沉淀，当达到所需要的厚度时，在轧式机上加工以后，把制好的管子由生铁心棒上取下。如果管子沉淀在易熔金属上时，则把管子加热到易熔金属的熔点，易熔金属熔化，则管子脱离开心棒。

这个方法的缺点是在于目前还很难沉淀合金，沉淀纯金属是比较容易的，但是已有沉淀合金的例子。科学一定会创造出沉淀任何一种合金的方法，这种方法将要得到很广泛的应用，这是毫无疑问的。但是压力加工并没有失去其重要性。并且在与沉淀法配合制造双合金时仍是一个必需的操作过程。

压力加工时物体体积的变化

在上面我们所研究的形成固体物体形状的方法中，已经指出了这种形成形状的方法使物体的质量不变（变多、变少），也就是说保持其一定的质量。

在这种情况下物体的体积怎样变化呢？这个问题对于轧钢工作者来说，具有实用的和科学意义。

每一种金属在任何一种状态时都具有一些空隙，铸造状态的金属的密度最小。铸造中有缩孔、砂眼、气泡。特别是在沸腾钢锭中气泡是很多的。大家都知道沸腾钢的比重约为 6.9；在轧制状态下金属的比重约为 7.85。

我们用 V_1 表示轧制前钢锭的体积， V_2 为轧制后钢锭的体积，用 Δ_1, Δ_2 表示与其相对应的比重，则，显然地当质量保持不变时，我们可以写作：

$$V_1 \Delta_1 = V_2 \Delta_2,$$

由此
$$V_2 = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} V_1 = \frac{6.7}{7.85} V_1 = 0.88 V_1。$$

我们可以看到当加工铸造金属时，其体积可以减小 12%。当铸造金属密结以后， $\Delta_1 = \Delta_2$ ，因此 $V_1 = V_2$ ，也就是说，体积已经保持不变。但是大家都知道，在塑性变形时金属的密度要减低，因此体积要增加。

密度降低的原因，将要在“塑性变形的机构”那章中来讲。再结晶会恢复其密度。在热加工中这两种现象是同时发生的，因此彼此可以互相抵消。

研究的結果指出，当塑性变形时各种金属密度的誤差为 0.1—0.25%，也就是說在实际計算中这样小的数值可以不加以考虑。在压力加工时金属的体积可以設想为不发生变化（鑄造鋼錠除外）。

这个假設是很重要的，它可以簡化在金属压力加工原理中的許多数学計算，並且容易了解所进行的各个过程的实質。

某些作者，古布金（Кубкин），齐西可夫（Чижиков）等，把关于在金属压力加工中体积不变的情况称体积不变定律。

我們把上面所談的作一個簡短的總結

1. 在实际中所应用的形成固体物体的形狀方法很多，以物体的質量为基础可綜合为三种基本的方法，（а, б, в 三种）。

2. 在比較形成金属物体形狀的方法后可知，其中每一种都有其优点有其缺点，因此工程师應該善于選擇生产某一种产品的更合适的方法。这个原則應該是設計任何一个工艺的基础。

3. 在B种形成物体形狀的方法中，也就是沒有質量的变化，在金属压力加工範圍內，可以确定物体的体积在加工前和加工后的改变是很小的（由0.1到0.25%），因此可認為，在金属压力加工时体积是不变的，鑄造鋼錠除外。

参 考 書

И. М. 巴甫洛夫 1950 年版，第 I 章和第 2 章第 8 節。

С. И. 古布金 1947 年版序言。

Ю. М. 齊西可夫 1952 年版序言。

譯者註：本書中引用的參考書，作者僅寫出該參考書的作者姓名及出版日期，其參考書之全名及作者姓名如下：

1. И. М. Павлов Теория прокатки(общия основы обработки металлов давлением) 1950.
2. С. И. Губкин Теория обработки металлов давлением 1947.
3. Ю. М. Чижиков Прокатное производство 1952.
4. И. М. Павлов Теория прокатки и основы пластической деформации металлов 1938.
5. Я. С. Галлай Материалы по теории прокатки часть IV 1948.

第三章 力、应力及变形

如果外力作用在物体上，並且阻碍了在作用力影响下該物体所要发生的运动，則在物体内会发生內力，而且物体发生变形。內力发生的机构是原子間距离的改变，因而物体的形状发生变化。換句話說，內力的出現引起原子的位移，及物体原来形状的改变。由此可見物体发生变形是受了外力和內力的作用。

外力可以分为：

1) 有效作用力； 2) 反作用力； 3) 摩擦力（起有效作用的或是起反作用的）。

作用力由机械作用而产生，例如，由于軋軋的轉动或由于錘头的落下打在变形金属上等等。作用力的数值决定于物体变形所需要的能量。作用力与作用力所經過的途徑的乘积是变形功。

反作用力为工具作用在金属上的压力，是由于阻碍了金属运动而发生的。

我們用下列图形来研究。

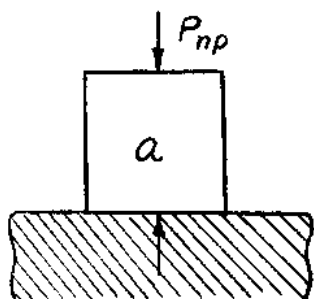


圖 5

“a” 变形物体

P_{np} —作用力

P_p —反作用力

P_{pr} —水平反作用力

当力量作用在圆柱体 a 上时（图 5），这个力企图使此圆柱体向下运动，但鉄砧子所发生的反作用力阻止了这个运动，圆柱体不能向下运动。

在物体“a”中产生內力，用来平衡外面的作用力和反作用力。由于产生了內力，物体发生变形。

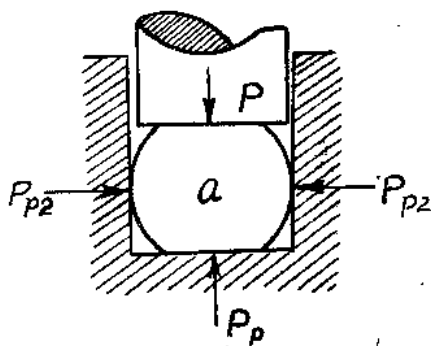


圖 6

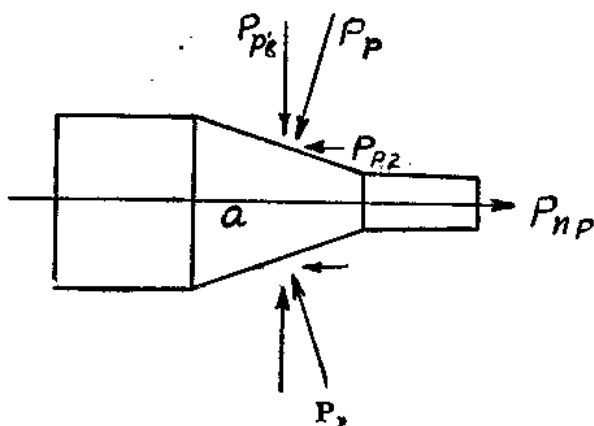


圖 7

当物体形状改变受到阻碍时（图 6）也要发生反作用力。在第 6 图中表示物体 a 在模

子中的变形，模子的立壁阻碍了物体在水平方向的运动，因此，在物体 a 中产生了内力用来平衡水平的反作用力。

在这种情况下除了用来平衡作用力 P_{ap} 及模子的反作用力 P_p 外，又产生了用来平衡水平反作用力 P_{pr} 的水平内力。

反作用力总是垂直于工具的工作表面，因此在某些情况下反作用力的方向也可以不和作用力在一条直线上（图 7）。

反作用压力可以分解为水平的 P_{pr} 与垂直的 P_{pv} 两个分力。如第图 7 所示。显然，为了平衡这些力要产生与它们方向相反的内力。

这样当存在有各个方向的作用力与工具的反作用压力时，在变形物体中要产生各个不同方向的内力。

摩 擦 力

在任何压力加工过程中，在变形金属与加工工具之间具有摩擦力。

摩擦力既能起反作用，也能起有效作用。

例如一个样品发生变形（锻粗）（图 8），金属要沿着锤的接触表面移动。这移动遇到了阻力 F （摩擦力），摩擦力阻碍了金属的流动，使这个流动慢下来。摩擦力在这种情况下起的是反作用，是变形的阻碍。

在轧制时（图 9），轧辊与变形金属之间的摩擦力把轧辊的运动传给金属，并牵引金属进入轧辊的孔隙中，摩擦力帮助了变形过程，因此，它起的是有效作用。

为了平衡摩擦力在任何情况下要求产生与其方向相应的内力。

在这种情况下，内力的产生不仅是为了平衡机械对于物体的作用，当在物体中发生各种形式的物理和物理化学过程时，也要产生内力。

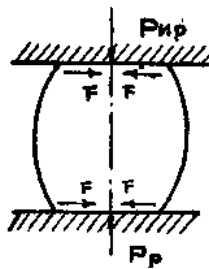


图 8

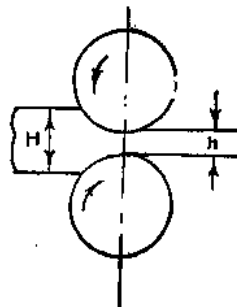


图 9

在这种情况下内力的产生是由于阻碍物体在任何方向下不均匀变形的结果。通常这种阻碍是由于变形体积的完整性而产生的。

假设我们把棒 A 进行不均匀加热，棒的左部加热比右部要慢些，因此棒的右半部企图增加的长度要比左部大。因为棒是一个整体其左右方增加的长度要相等。因此在左半部产生了强制的拉力，而在右半部产生了强制的压力。这些力在整个棒中互相平衡。如果把棒切开使右半部与左半部分离，则两个部份中的内力即消失，因为它们彼此间是互相平衡的。