

高等學校教學用書

金屬壓力加工原理

С. И. 古布金著



高等教育出版社

高等學校教學用書



金屬壓力加工原理

С. И. 古布金著

梁炳文譯

唐榮錫 劉世寧 遲家駿校

高等教育出版社



本書係根據蘇聯國立黑色與有色冶金科技書籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии) 出版的古布金 (С. И. Губкин) 所著“金屬壓力加工原理” (Теория обработки металлов давлением) 一書 1947 年版譯出。

原書經蘇聯高等教育部審定為高等工業學校教科書。內容有作者歸納了的國內外關於金屬壓力加工方面的廣泛資料，並有作者本人的研究結果。指出了依據科學理論基礎製定及計算施工程序的原則。是金屬壓力加工方面的一部巨大著作。

全書共分六章。第一章講各種變形及應力狀態與其研究方法。第二章係主要根據金相學研究塑性變形的物理現象及各種主要因素。第三章闡明幾個對於研究晶體塑性變形有關的基本定律。第四章分析各種壓力加工的變形過程。第五章講各種因素對於變形抵抗力的影響及其計算方法。第六章講根據原理、各種資料及因素釐訂金屬壓力加工規程的方法，最後並舉例說明其應用。

本書可作為高等工業學校教材用，也可供工程師及科學研究人員作為參考。

本書由北京航空學院梁炳文同志譯，唐榮錫、劉世寧、遲家駿三位同志校。

壓 力 加 工 原 理

С. И. 古布金著

梁 炳 文 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

書號 425(課 396) 開本 850×1168 1/32 印張 17 8/16 插頁 4 字數 451,000

一九五五年十月上海第一版

一九五六年一月上海第二次印刷

印數：1,401—2,800 定價：(8) 洋 3.04

目 錄

作者序

緒論	7
第一章 變形力及變形	16
§ 1. 外力及應力	16
§ 2. 變形	21
(a) 彈性變形	21
(б) 永久變形	28
§ 3. 主應力	31
§ 4. 主應力狀態圖	36
§ 5. 主形變及主形變圖	48
§ 6. 非均佈應力	56
§ 7. 研究應力及形變分佈情況的主要方法	62
§ 8. 副應力	75
§ 9. 殘餘應力	83
§ 10. 外摩擦	98
§ 11. 在變形中決定外摩擦係數的主要方法	110
第二章 塑性變形的物理性質	125
§ 12. 單晶體塑性變形的物理性質	125
§ 13. 多晶體塑性變形的物理性質	149
§ 14. 多晶體的破壞及其物理機械狀態圖	172
§ 15. 變形時的溫度及速度因素	179
§ 16. 變形對於金屬性能的影響	198
第三章 結晶體塑性變形的幾個基本理論	211
§ 17. 剪應力定律	211
§ 18. 在永久變形時存在有彈性變形的定律	212
§ 19. 體積不變的假定	214
§ 20. 物體的變形位能與其變形狀態圖無關的定律	215
§ 21. 最小阻力定律	229
§ 22. 相似定律	240

§ 23. 副應力定律	245
第四章 各種變形過程的分析	248
§ 24. 變形過程的力學分析	248
§ 25. 拉伸	251
§ 26. 墩鍛	259
§ 27. 用光輾軋的輾壓工作	273
§ 28. 擠壓	295
§ 29. 沖擠	316
§ 30. 拉延	320
第五章 變形抵抗力	353
§ 31. 實際抵抗力, 變形程度對於實際抵抗力的影響	353
§ 32. 變形溫度對於實際抵抗力的影響	382
§ 33. 變形速度對於實際抵抗力的影響	387
§ 34. 實用上在一定的變形溫度及速度規程下求實際抵抗力的方法	395
§ 35. 單位塑流壓力 (γ , Д. Т.)	400
§ 36. 單位變形功	420
§ 37. 計算單位塑流壓力的解析方法	429
§ 38. 各種確定單位塑流壓力的方法	474
第六章 釐訂金屬壓力加工施工規程的方法	483
§ 39. 一般內容	483
§ 40. 決定變形的溫度及速度條件時的主要問題	484
§ 41. 合金平衡圖對於確定變形溫度及速度條件的作用	488
§ 42. 金屬的塑性	489
§ 43. 塑性指數及其在確定變形溫度及速度條件時所起的作用	493
§ 44. 變形溫度及速度條件的準確化	504
§ 45. 設備沖程(行程或沖擊數)及功率的決定	515
§ 46. 計算釋例	521
I. 決定冷輾及熱輾的工序次數	521
II. 在拉絲中決定工序次數的方法	540
III. 決定汽鏈的重量	544
參考書目	551
俄華名詞對照表	558

作 者 序

金屬的壓力加工方法，已成為各種工業特別是國防工業施工法的主要而不可缺少的部份了，因其對國民經濟有着重大的意義，這就是其所以能夠以高速發展的原故。不過到目前為止，金屬壓力加工還沒有其獨立的理論，足以說明各種加工（輾壓，鍛製，薄板壓製，拉絲及擠壓）變形過程的共同基礎。故過去很多有關金屬壓力加工的理論研究，不是沒有得到應有的重視，就是落在生產發展的後面，這無疑地妨礙了有關這方面生產技術的發展。例如，有些施工工程師，對於有理論根據的不複雜的公式，常避而不用，而寧願引用一些更簡單而少有根據的經驗公式，總認為理論公式是複雜的。然而在一些比壓力加工應用範圍更窄的其他生產技術中，則工程師們常成功地應用一些比由金屬壓力加工方面理論研究所提供的更複雜的公式和計算。有關壓力加工的理論公式及理論研究的結論所以沒有得到足夠的重視，只能解釋為是由於理論太落伍的原故。其主要原因已如上述，乃由於金屬壓力加工沒有其獨立的理論，能為生產工作者信服及瞭解。實際上，要想使理論得到產業工程師的重視，理論本身必須建築在嚴格的科學基礎上，有其獨立的研究方法，能夠以其科學基礎和計算方法，具體指出強化施工法的途徑來。但是在沒有積累起足夠的實驗資料和沒有組織起像塑性變形與金相學那樣極重要的科學部門來以前，要建立壓力加工理論的基礎來滿足對它提出的要求，是不可能的。故薩可斯(Заке)[2]，息別爾(Зибель)[4]，列伊陶(Рейто)[25]和作者[6]，[7]及[14]的作品，還不敢說是給金屬壓力加工闡明理論基礎的嘗試。這些作品祇能說是在一定程度上給將來闡明理論時提供所需要的資料罷了。在以上作品裏沒有提

到巴夫洛夫(Павлов)^[8]的著作,因為巴氏的著作目的不在闡明一般的理論基礎,而是對個別的加工即輾壓作深入的研究。應當指出,要建立金屬壓力加工理論的共同基礎,絲毫不排斥對於個別加工過程作深入的理論研究,因為這種研究對於這共同基礎的進一步深入和發展,能提供更多的資料。

由於目前在金屬的塑性變形方面,已積有相當數量的實驗資料,足以闡明理論基礎,並給各種變形過程提供獨立的研究方法,作者即不揣冒昧,提請讀者注意這本敘述金屬壓力加工理論的著作。由於金屬各種壓力加工一般性理論基礎的敘述,在本書還是首次創舉,並且書中的很多理論原則係根據作者本人的研究結果所發揮的,因此疏忽地方,當然是在所難免的。作者深信產業工程師和科學研究工作者,必能幫助更正這些疏忽的地方,大家共同協力,使金屬壓力加工理論能夠日益趨於完善的地步。

最後作者謹以愉快的心情,對達維金考夫(Н. Н. Давиденков)院士在評閱本書時所提出的極其寶貴的意見,並對郁哈維茲(И. А. Юхвиц)同志對原稿細心的校閱,及喬爾達夫司基赫(А. К. Чертавских)同志對第一章 § 10 及 § 11 兩節的校閱,致以深切的謝意。

古布金

1944年4月

緒 論

金屬的壓力加工方法，乃各種工業部門中所用的各種施工法中一個極重要的環節。壓力加工包括很多種工作，其中最主要的是輾壓、鍛製、薄板壓製、拉絲及擠壓。

輾壓工作在冶金工廠及金屬加工工廠中都有。其產品為板料，捲料，及型材。型材包括圓形，方形及矩形剖面的棒料，還有各種鋼軌形及槽形等剖面的型材，和金屬絲及管子等。

鍛製工作應用於各種冶金工廠，金屬加工工廠，及機器製造工廠，其中包括國防工業工廠。鍛製工作在造船工業，發動機製造工業，及機床製造工業中，佔着很重要的地位。鍛製品包括各種各樣的零件，供製造機器、機床、儀器及金屬結構之用。在這些產品中，我們可以看到有高合金鋼的航空發動機曲軸，有航空發動機的輕合金零件，有光學儀器中的黃銅製件，有渦輪零件及船內機構零件。

薄板壓製工作乃由金屬板料製造各種產品的工作。這種生產方法應用於生產金屬製品的各種不同企業，機器製造廠，出產日用品的工業，以及國防工業的工廠等等。在板壓產品中有用鋁板製成的飛機零件，及軍需工業的子彈殼等。

拉絲工作主要用於金屬加工工廠，冶金工廠，及電纜製造廠中。其產品為呈各種剖面形狀的金屬絲，棒料，及管料。拉絲產品的應用範圍很廣，特別是在電纜，電線，金屬網，金屬篩，電爐的阻力絲，各種儀器、

設備及機器的零件製造諸方面。

擠壓工作係指用擠壓方法製造棒料，型材及管料。這種生產方法應用於有色金屬的加工工廠。其產品應用於各種工業部門，其中首推國防工業。

不用壓力加工方法將無法進行的生產，有以下幾種：

- (1) 生產資料本身的生產；
- (2) 國防工業的生產；
- (3) 各種運輸工具的生產；
- (4) 精密器械的生產；
- (5) 醫療設備及器械的生產；
- (6) 各種各樣日用品的生產；
- (7) 農業，電氣化，通訊等必需品的生產。

工具機及工作母機的很多重要零件，祇能用壓力加工方法製造出來。例如汽鎚的鎚桿，曲拐沖床的曲軸及偏心軸，輾壓機的壓力螺桿，及工具機的其他重要零件（其中包括壓力加工本身使用的機器在內），都應當用壓力加工方法（主要是鍛製）製造出來的。有很多壓力加工用的工具也常是鍛製品：如用鍛製材料製成的落錘模子，用模造方法製造的模子；輾壓輥子在某些情形下也是鍛製的。

工具機的一些重要零件，大多用兩種主要的加工方法製成，即鍛製法與輾壓法。關於這一點，可以列舉大量的例子，證明很多器械，機構及工具機等生產資料的各種構件和零件，離開了壓力加工方法，是根本製造不出來的。

與金屬壓力加工方法聯繫極密切的，還有國防工業的各部門。在這裏祇列舉幾個例子，就可以看出來它的重要性了。如飛機發動機及坦克車發動機的重要零件，飛機螺旋槳葉及砲彈等，都是用壓力加工方法製造出來的。

在這裏我們還沒有提到製造大砲，射擊自動器及其他各種武器的

例子，不過我們可以說，在這些武器的製造業中，和其他各種國防工業一樣，也同樣廣泛的應用着壓力加工方法，來製造各種零件。國防工業要求使用最強有力而最新穎的壓力加工機床和最高的生產技術水平。

交通工具的製造亦同樣與壓力加工有着密切的連繫。由於薄板壓製方法的發展，汽車的生產迅速地發展了。汽車工廠必須有設備良好的鍛製車間和薄板壓製車間。例如高爾基汽車製造廠便有這種完備的鍛製車間。

在機車製造廠，車輛製造廠及造船廠中，也同樣需要有設備完善的鍛製車間。在上一世紀裏汽鎚的出現是與海船上需要有重大的鍛製鉚這件事有關係的。軍用和民用船艦製造業的繼續發展，引出了強力液壓機的產生；現在大造船廠的鍛製車間，液壓機已成爲不可缺少的必要設備了。

故在各種交通工具的製造廠中，皆用鍛製車間，薄板壓製車間，及其他壓力加工車間的產品。

用金屬壓力加工法來製造各種各樣的零件、導線、電器、電機、燈泡工廠產品和弱電流器械，對於滿足電氣化和通訊設備的需要來說，是必要的。

壓力加工方法亦應用於拖拉機及其他農業機器的製造，和醫療設備及器械的製造。

尤其是在一般日用品的製造中，難以找到不組織用這種壓力加工方法，或用那種壓力加工方法的。

故一般的可以這樣說，任何一種工業，不是直接與壓力加工有關，就是間接與壓力加工有關。

所有金屬壓力加工方法，都是利用金屬及其合金的塑性。所謂塑性，乃指固體作爲整體說沒有破壞發生的永久變形的能力而言。

所有各種壓力加工生產的基本任務，都是利用金屬的塑性變形，來製造出所需要產品形狀來。

與塑性變形過程相關的還有金屬的機械試驗。機械試驗可看作是一種獨特的壓力加工方式，因為作這些試驗時，都是在金屬樣品上加外力，使其發生永久變形。

這種變形方式並不是什麼生產過程，它並不能生產出什麼成品來，但它是為金屬的壓力加工及其他加工方式的工業生產服務的，因可藉此對各種目的選出適當的金屬或其合金來，並可藉此判斷產品質量，決定產品的機械性質。

一種金屬樣品的機械性質是用它在一定條件下的變形來測定的，這些性質實際上就是該金屬對彈性變形或塑性變形抵抗力的指數和該金屬對永久變形能力的指數。

主要的機械試驗方式，有以下幾種，即拉伸試驗，壓縮試驗，彎曲試驗，扭轉試驗，用沖擠法的硬度試驗。其中最重要的是拉伸試驗，因為由這一種試驗，即可以斷定金屬的機械強度及其是否容易變形的兩種最重要的性質。

因此塑性變形過程在技術上的意義更由於以下原因而增強了，即由這種過程不但使我們能為了工業上的目的而去改變金屬的形狀，並可藉此研究金屬在變形過程及熱處理等操作中，各種因素對於改變金屬的機械性質的影響為何，即幫助判斷產品質量，及選出適宜於各種用途的金屬或合金來。

任何壓力加工方式的任一工序，都是基於塑性變形的過程，其結果發生了以下的變化：

- (1) 由於外力的機械作用，使物體的形狀或尺寸發生了變化；
- (2) 由於物體形態的物理變化過程，使物體的內部組織及與其相關的物理機械性質發生了變化。

作用力的機械效果，表現在受作用的物體內呈現應力狀態。

作者在本書中提出的變形狀態圖提供了關於作用力的機械效果的一個概念，這種變形狀態圖說明：(1) 所發生的主應力的種類(拉應力，

壓應力)；(2)所發生的主形變的種類(拉形變，壓形變)。

變形狀態圖決定了變形過程的機械的(即力的)一方面。所以可認為，只要知道了變形狀態圖，就能決定變形過程。

完全不同的壓力加工生產方法以及各種機械試驗方法，可以有相同的變形狀態圖，即是說，它們都是基於相同的變形過程的。

故在作理論研究時，並不須對各種壓力加工方式一一詳加分析，祇要對基本變形方式加以注意就可以了。這些基本變形方式有以下幾種：(1)墩粗，它本身又可分為普通墩粗和輾壓，後者乃是一種特殊的墩粗方式；(2)擠壓；(3)沖擠；(4)拉延；(5)彎曲；(6)扭轉；(7)拉伸和(8)複合方式。

在給各種基本變形方式下定義以前，茲先將壓力加工過程，機械試驗過程，和變形過程的意義加以說明。

所謂壓力加工過程乃指改變毛料形狀，使其成為工件的施工過程而言。

所謂機械試驗過程乃指由改變樣品的形狀，藉以獲得材料的各種機械指數的過程而言。

所謂變形過程，乃指物體在外力作用下改變形狀的物理機械過程而言。某幾種變形過程的名稱和相應的壓力加工過程及機械試驗過程的名稱相同。

幾種基本變形方式，如圖1所示。

茲由變形狀態圖，將這些基本變形方式的定義說明如下。

1. 墩粗，一般墩粗工作，是這樣的一種變形過程，即由於與毛坯接觸的墩鏈表面間距離的縮短，減小了毛坯的高度。墩粗方法應用於鍛製工作中，是自由鍛的基本操作法之一(墩粗及用墩粗法延伸的工作)；亦應用於封閉的模鍛工作，用臥式鍛造機的加工工作，以及機械壓縮試驗工作。

2. 輾壓是另一種形式的墩粗工作，即由摩擦力將毛坯拉進旋轉的

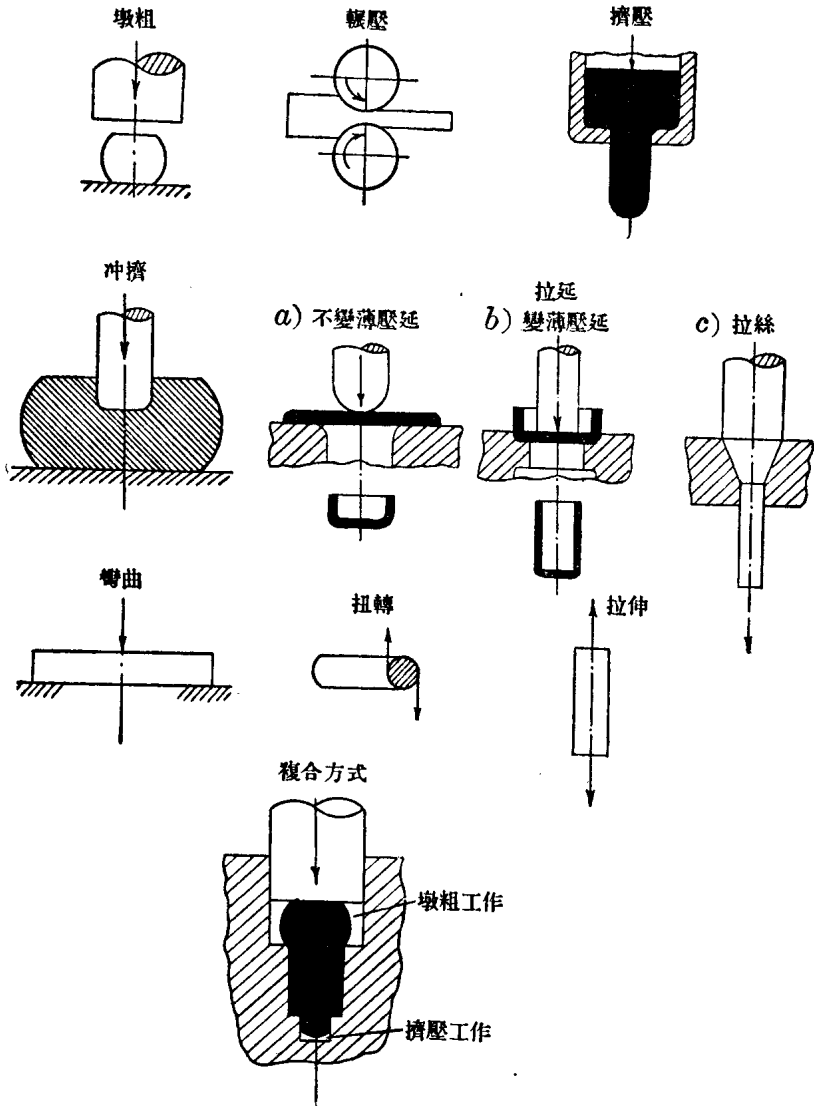


圖 1. 幾種基本變形方式。

輾輟間，施壓力減低其高度。這種方式應用於各種輾壓生產工作。輾壓方法亦應用於鍛製工作，即用鍛製輟子來改變毛坯的形狀。

3. 擠壓是這樣的一種變形工作，即將金屬由工具的一個洞內擠到另一個洞內，或擠到模子的外面。在臥式液壓機上用有色金屬製棒料及管子，便是用的這種方法，在鍛製生產方面，模鍛亦為這種變形方式之一。

現在所謂擠型工作 (экструдинг-процесс) 就是一種擠壓加工方法，例如用環狀毛坯擠壓薄壁管料及發動機活門等產品的方法即屬之。庫爾那考夫 (Н. С. Курнаков) 院士所創的對金屬作物理化學分析中的機械試驗方法，也是應用擠壓變形的方式。

4. 沖擠乃是一種用工具沖入金屬內使其改變形狀的方法。沖擠變形分封閉的及敞開的兩種。例如硬度試驗按其變形狀態圖來說就是一種封閉式的沖擠方法，這時金屬並不能自由的向四周移動，故叫做是封閉的。敞開式的沖擠方式是當工具進入金屬內時，金屬可以自由的向周圍移動，因而使其改變原來的形狀。沖擠工作應用於鍛製生產，特別是敞開式穿孔及用模子的封閉式穿孔工作；亦應用於由管料再進一步沖製管材的工作。

5. 拉延工作乃是將毛料由工具的洞口拉過，使其改變形狀的變形過程。這些洞口可能是凹模的洞口，或是由旋輪或輟子等所形成的縫隙。拉延工作本身又分為幾種形式，彼此之間在變形狀態圖上略有不同。因為區別不大，故所有拉延工作皆可視為是相同的變形過程。

幾種主要的拉延工作為：

(a) 拉絲——乃將實心料 (金屬絲，桿料及型材) 由凹模洞內抽過的工作方法，亦包括抽製空心毛料而不改變其內徑尺寸的工作方法。

(b) 不變薄壓延——即將板料或空心件由凹模洞口通過，將板料變成空心件，及將空心件直徑減小，而皆不使原來厚度變薄的工作方法。

(B) 變薄壓延——即將空心件通過凹模，同時將其直徑減小並將其厚度變薄的工作方法。

拉延工作包括各種各樣的拉絲工作，和薄板壓製中的主要工作，即變薄和不變薄的壓延工作。

6. 彎曲——這是一種在鍛製生產，薄板壓製生產，及機械試驗中很普通的變形工作。

7. 扭轉——亦機械試驗工作中的一種方式；同時也是一種製造鍛件的施工方法。

8. 拉伸——乃一種最基本的變形方式。又是機械試驗中最主要的試驗方法。因拉伸試驗的變形狀態圖最為單純，故最能準確得出金屬的機械性質。

9. 複合方式——乃同時有幾種變形方式的變形工作。例如模鍛時，可能同時使金屬充滿模子的兩個空間：對第一個空間說是墩粗工作，對另一個空間說是擠壓工作。

最後再談金屬壓力加工理論的任務為何。

這些任務有以下幾種：

1. 金屬壓力加工理論應闡明變形力的基本力學原理，並根據這些原理來分析變形過程。為了明瞭變形狀態圖，分析各種變形狀態圖的優缺點，並瞭解外摩擦對於壓力加工的作用起見，必須了解變形力的狀態為何。有了這些知識的幫助，才能正確地解決這樣的問題，如(a)選擇變形方式；(b)選擇合理的毛料尺寸及形狀；(B)降低摩擦力有害影響的措施。此外，這些知識還可以幫助解決在設計軋子，模子及其他工具的形狀時所發生的問題。

2. 壓力加工理論應闡明金屬變形的物理過程。有了這種知識，才能夠了解變形過程對於金屬的物理機械性質有什麼影響，並決定應在什麼條件下來進行加工，以使變形結果能獲得最適當的物理機械性質。

3. 壓力加工理論須能夠在各種方式的壓力加工生產中，給出計算

所需要的變形工作能量的方法來。有了這種知識，才能夠正確地選定壓力加工所需要的機器設備的馬力為若干，並估計出這些機器設備的噸數來。

4. 壓力加工理論應指出確定施工程序的基本原則來，以保證用最少的費用和能量消耗，而能得到成本最低，質量最高，和勞動生產率最大的產品來。

第一章 變形力及變形

§ 1. 外力及應力

如果在任何物體上加以外力並阻止物體因受外力作用而發生運動的話，物體內即會產生內力，並發生變形作用。

物體中內力的發生乃用以平衡外力，外力自身間的相互平衡祇有在作用於絕對剛體時才可能，但這種絕對剛體在自然界是不存在的。內力的發生乃由於改變了原子間的距離，由而改變了物體的形狀。故物體在變形時，除外力外，還受有內力的作用。

物體在變形時所受的外力可以分爲以下三種：(1)所加上的外力，即作用力；(2)反作用力(反力)，使工具對於金屬產生壓力；(3)摩擦力，有作用的及反作用的兩種形式。

作用力可以由各種機械動作產生之，如沖擠時壓板在容器內的運動，汽錘錘頭對物體的打擊，及輾軋的轉動等。作用力的大小決定了變形所需要的能量數值，因為外力與其所移距離的乘積即等於變形功。

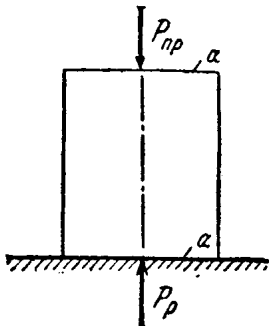


圖 2.

完成變形工作的各種工具機的馬達功率，及其產生的作用力大小，根據變形所需要的作用力大小選定之。

反力使工具對金屬產生壓力，它制止了變形金屬的運動。例如當作用力 P_{np} (見圖 2) 加到圓柱上時，它有使圓柱下降的趨勢，但下面的砵子制止了圓柱的下降，在下面產生了反壓力。在物體的內部則產生了內力，來平