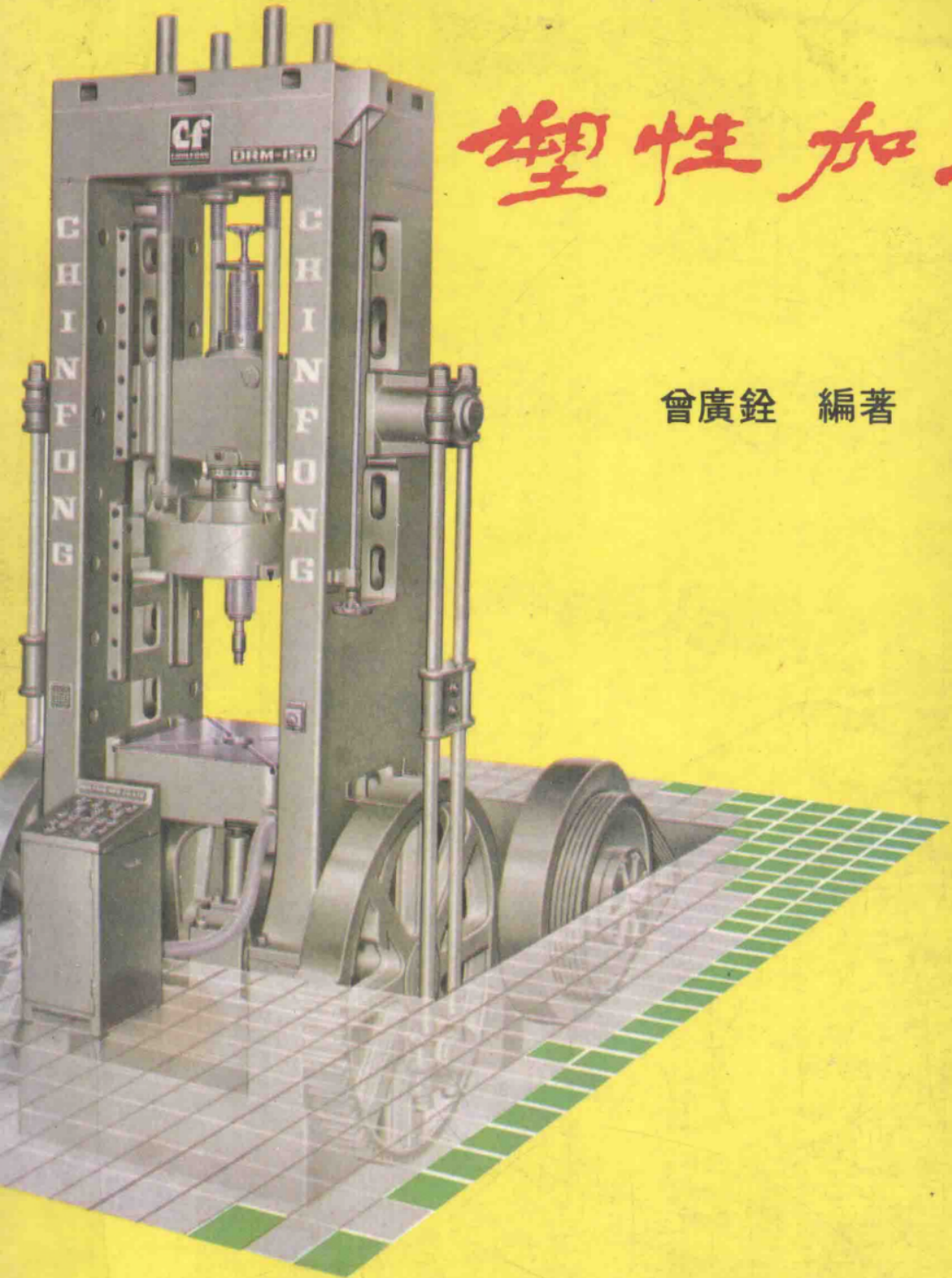


塑性加工

會廣銓 編著



中央圖書出版社出版

塑性加工

曾廣銓 編著

中央圖書出版社出版

行政院新聞局出版事業登記證，
局版台業字第〇九二〇號

工加性塑

究必印翻·有所權版

整元拾伍佰肆幣台新價實

編著者：曾

廣

出版者：中

央圖

書出版

社

發行人：林

在

發行所：中

央圖

書出版

社

台北市重慶南路一段一四一號

電話：

三三一五七二六
三七一九八九三

郵撥：〇〇〇〇九一四一六

印刷所：國

順文

具印刷

行

板橋市中正路216巷2弄13號

電話：

九六七七二二六

中華民國七十六年六月初版

編號：3255

編輯大意

自從政府嚴禁翻印原文教科書以來，大專學校就嚴重缺乏適當專業教本，一般中文專業課本，又絕非委由有豐富工廠實務工作經驗者執筆；不以爲功。所以中文專業教科書在坊間更形匱缺，塑性加工是近年教育部爲著因應台灣機械工業升級之迫切需要，而列爲大專機械科系必修專業課程之一，因爲塑性加工的課程內容偏重現場實際運作，作者謹以三十年的工廠實務經驗，再由於著者在工廠服務時，在大專院校兼課的廿餘年教學心得，更加上所撰著之塑性加工講義已經試教達四年之久，已深獲學生肯定，及工廠同仁讚許，今應需求去蕪存菁；重新刪潤撰著成書，務希使學生能夠獲得職前堅實的專業智識，和奠定穩靠的技術基礎，至盼。

本書遵照教育部七十二年頒訂機械工程科課程標準內容撰著而成，內容提精博約，深入淺出，並列舉實用例題甚多，皆採用公制單位演算，並廣泛蒐集實用圖表和現場範例，俾幫助學生易於瞭解。茲簡述本書撰著內容的特色如下，以窺全豹。

我們可以承認學生不會設計一部衝壓機，但是我們不允許學生不會完善地利用一部衝壓機。其次學生不必要透徹地瞭解一部衝壓機的詳細結構，但是絕不能容許不會設計出一座衝壓模具的詳細結構，所以對於各種金屬及其合金的材質特性，及各類模具的功能與其設計，我們既然身爲一個工程從業人員，必須具備確實的認識和運用技能。這是本書撰著特色之一。

本書不僅可作爲教科書，亦可作爲工廠機械從業人員實務參考書籍之用，是其特色之二。

IV 編輯大意

一個機械工程從業人員，將來一定要在工場現場服務，必須從事實際生產工作，所以本書特別專注現場實務需要的智識，這也是本書特色之三。

在工廠裡；我們希望一個好的工程人員能做到可以完全發揮現場機器設備的效能，及會迅速修護被損壞的機器設備，和有敏捷設計所需用工具和模具的能力，這些能力的培養與傳授，亦是本書強調特色之四。

最後有關工廠的安全措施和工作安全應注意的一般法則，更是一個工程人員不可或缺的常識，我們重視安全重於生產，也就是本書特色之五。

著者雖然有豐富的工廠實務工作經驗，及多年的教學心得，惟因工業界與教育界缺乏無隔閡的聯繫，所以實難達到使學生將來做到所學皆所用，及能夠以今日所學來解決未來現場所不知的完美地步，此誠屬遺憾。至於疏誤之處仍多，掛一漏萬之處，亦所難免，謹祈識者斧正。

本書撰著期間，承蒙孟繁蘋女士多所協助，特此致謝。

曾廣銓 謹誌

民國七十六年六月六日

目 錄

編輯大意

第一章 緒 論

1-1	塑性加工的分類	1
1-2	金屬塑性變形	2
1-3	差 排	6
1-4	金屬材料塑性變形的理論	10
1-5	金屬材料的加工硬化	12
1-6	塑性變形壓縮力之計算	16
	習題一	19

第二章 鍛造概論

2-1	概 述	21
2-2	鍛造用之鍛錘及壓床	28
2-3	鍛模材料	59
	習題二	82

第三章 鍛造方法

3-1	開模鍛造	85
3-2	閉模鍛造	109
3-3	閉模鍛錘與壓機之選用	112

VI 目 錄

3-4	加熱頓粗鍛造	135
3-5	槽輓鍛造	137
3-6	高能率鍛造	143
3-7	環形輓鍛	146
	習題三	153
第四章 特種金屬鍛造		
4-1	不銹鋼鍛造	155
4-2	耐熱金屬鍛造	179
4-3	鋁合金鍛造	194
4-4	其他非鐵金屬	197
4-5	特種金屬的高能率鍛造	203
	習題四	208
第五章 冷作成形概論		
5-1	概 述	211
5-2	冷作成形的特色	211
5-3	冷作加工之分類	222
5-4	壓床及其輔助設備	222
5-5	金屬片成形之壓床選擇	230
5-6	金屬片成形之潤滑油選擇及用法	241
5-7	各種成形模子的材料選擇	245
	習題五	259
第六章 鋼片，鋼帶及鋼板之成形法		
6-1	概 述	261
6-2	衝胚料及衝孔	263
6-3	模具的結構類型	276
6-4	模具設計技術	285
6-5	壓 花	354
6-6	壓床彎摺	359

6-7	彎形製成品的精確度	393
6-8	彈回角量的控制方法	395
6-9	彎形壓力之計算	400
6-10	彎形衝模之構造	412
6-11	彎形方法	415
6-12	摺床彎摺	422
6-13	壓床成形	423
6-14	反向引伸	453
6-15	多滑塊機成形	456
6-16	引伸成形	458
6-17	旋 壓	459
6-18	橡皮墊板成形	463
6-19	外形輓成形	465
6-20	三輓成形	468
6-21	落錘成形	470
6-22	爆炸成形	472
6-23	電磁成形	477
6-24	成卷片帶剪切	478
6-25	帶料的送料機械裝設	479
	習題六	490

第七章 棒料管子及線料的成形

7-1	棒料的彎曲	499
7-2	管子彎曲及成形	502
7-3	管子的成形方法	509
7-4	管子旋壓	519
7-5	管子棒料及長料之拉直	523
7-6	管子及棒料之旋鍛成形	524
7-7	線之成形	527
7-8	棒料之剪斷	538
	習題七	545

VIII 目 錄

第八章 特種金屬成形

8-1	不銹鋼及耐熱鋼之成形	548
8-2	非鐵金屬成形	554
8-3	鋁及其合金之成形	555
8-4	鎂及其合金之成形	560
8-5	鈦及其合金成形	562
8-6	碳化物引伸模具	564
8-7	箔狀材料之成形	564
	習題八	566

第九章 其他冷作成形

9-1	金屬塑性基本理論	567
9-2	冷打頭	571
9-3	冷擠加工	579
9-4	非鐵金屬之撞擊冷擠	613
9-5	珠 擊	622
9-6	凸脹成形	627
9-7	液壓成形	629
9-8	冷軋軋成形	631
9-9	非金屬材料的壓製	636
	習題九	642

附錄一

第十章 冷作成形機器簡介及其安全設施概述

10-1	冷作成形機器的分類	645
10-2	動 作	659
10-3	調整螺桿	668
10-4	支持方式	670
10-5	閉合高度	670

10-6	模具空間	670
10-7	離合器	673
10-8	安全機構	674
10-9	連續衝床	682
10-10	四滑塊或多滑塊式壓床	684
附錄二	687
附錄三	公制與英制單位換算表.....	695
索 引	697

第一章

緒論

塑性加工是金屬成形之一種，此類加工方法分爲兩種，在再結晶溫度範圍以下 500°F 使形狀產生塑性變形轉變成另一形狀的永久變形，曰熱作塑性加工變形，若在常溫中使胚料從最初形狀，產生塑性變形爲另一形狀，而其材質重量與材料成份並不變化，則曰冷作塑性加工變形，惟金屬材料的組織及機械性質會發生很大的影響。

金屬胚料成形可分爲：(1)鑄造成形；係金屬材料高溫融熔成溶液後再澆注入砂模或鋼模中，俟其冷卻凝固成形後，再從模型中取出成形製品，曰鑄造成形。(2)焊接成形，係將金屬型料構件焊接爲所需求形狀的結構，曰焊接成形。(3)機械切削加工成形，將預製成之胚件利用工具機作鑽孔、鉋削、銑製、車圓、研磨等機械加工成形，機械加工成形是有屑加工成形，至於塑性加工則係無屑加工成形。(4)塑性加工成形，就是在高溫或常溫中對金屬胚料施予劇烈的外力，使其產生材料永久變形曰塑性成形。

1-1 塑性加工的分類

金屬材料的變形能力，係隨溫度的上昇而趨容易，所以大多數都屬**高溫塑性加工**（Hot working），但是需求高度精確度或特殊需要時則採取**低溫塑性加工**（Cold working），塑性加工的分類，可分爲：

1. 縮減加工：金屬胚料受單軸向或三軸向的擠壓力量而致塑性變形，計有軋軋延伸，開模鍛造，閉模鍛造，印花及擠製（

2 塑性加工

Extrusion)。

2. 拉伸成形：金屬胚料受單軸或三軸向的張力以致產生塑性變形，譬如**延伸** (Stretching)，**凸脹**，**深凹成形** (Recessing)。
3. 拉伸與壓縮複合成形：金屬胚料受單軸或三軸向的拉伸與壓縮力量複合作用而達塑性變形，例如**深抽** (Drawing)，**旋壓** (Spinning)，**管子端鍛凸脹** (Upset-bulging)。
4. 彎曲變形：利用模具壓彎成V型，U型等**彎片成形** (Sheet bending) 或**彎管成形** (Tube bending)。
5. 剪切成形：板料或帶料受衝頭剪切或**衝孔** (Stamping)成形。

1-2 金屬塑性變形

金屬材料結晶顆粒內之原子排列有一定的結構規則者，如**體心立方** (Bcc)，**面心立方** (Fcc)，以及**六方密格子** (HCP)三種結晶格子的原子排列，由於相互吸引力和排斥力保持平衡的結果而不變形，若外力未超過降伏點，此外力消除後，原子間距離變化隨即消失，原子恢復原來平衡狀態，這種性質稱為**彈性** (Elasticity)，但是外力超過限度甚大，外力除去後，原子的排列因距離之增加而不復恢復回原來狀態，而變成新的狀態，即係產生永久變形，這種永久變形即稱為**塑性變形** (Plastic deformation)。

單結晶金屬若僅施以拉力或壓力時，不會發生永久變形，材料的拉力，壓力純粹係彈性應變。另一種型態的外力——**剪應力** (Shear force) 才是產生永久變形的原因，因為剪力偶使一原子面對另一原子面產生相對位移，而發生永久性的相互移動，並且仍能維持原子原來的排列規則，剪應力引起了永久變形的方式可分為兩類：

1-2-1 滑動 (Slip) 引起的塑性變形

即係物體受剪力作用超過某一限度時，沿著橫的方向發生相互的移動，稱為滑動，由滑動而產生的塑性變形，如圖 1-1所示；

(a)圖係未施剪力時的原子排列，(b)圖係受較小的剪力作用，而發生彈性移動，各原子沿著 2, 3, 4 各平面產生彈性移動，負

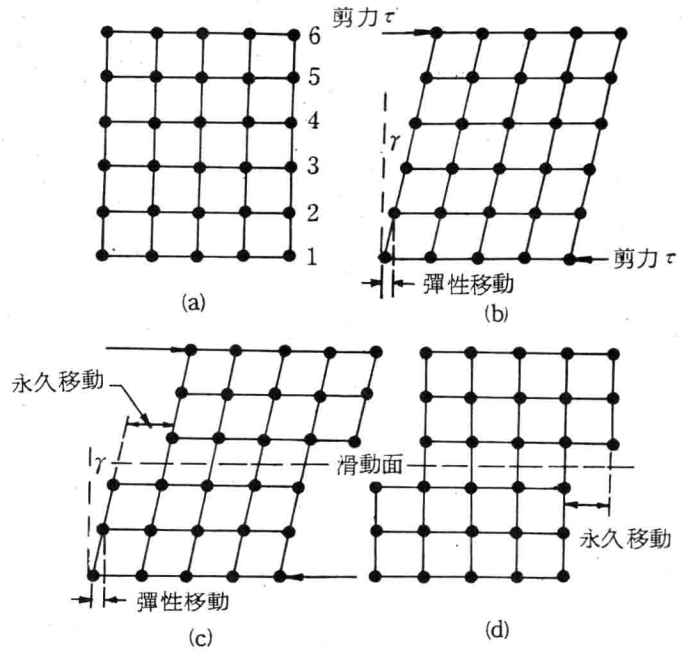


圖 1-1 單結晶受剪力時，其結晶格子由滑動所引起的應變情形

載增大，彈性變形量也隨著增加，根據虎克定律，剪應力 τ 與剪應變 γ 成正比，即 $\tau = G\gamma$ ，此處 G 為材料的剛性模數 (Modulus of rigidity)，剪力不超過彈性變形的限量 (曰彈性限度)，除去剪力後原子即會恢復 (a) 圖的位置，若超過了彈性限度時，就會產生 (c) 圖的變形狀態，即 3 以上的各原子沿滑動面 (Slip plane) 移動一原子間隔，而抵達新的原子位置，若結晶整體受到永久變形，就會成為 (d) 圖的狀態，這種變形量雖然甚微，若繼續不斷產生，結晶就會獲得相當大的塑性變形，而可以用眼睛觀察得到了。

經滑動引起之塑性變形後的單結晶在顯微鏡下，可看見多條平面黑線，稱為滑線 (Slip lines)，若有滑線之單結晶再經研磨平滑後，再置於顯微鏡下觀察，則看不出曾經有滑動發生過，可知結晶格子型架，及結晶方向不因曾有滑動變形而改變，如圖 1-2 所示。

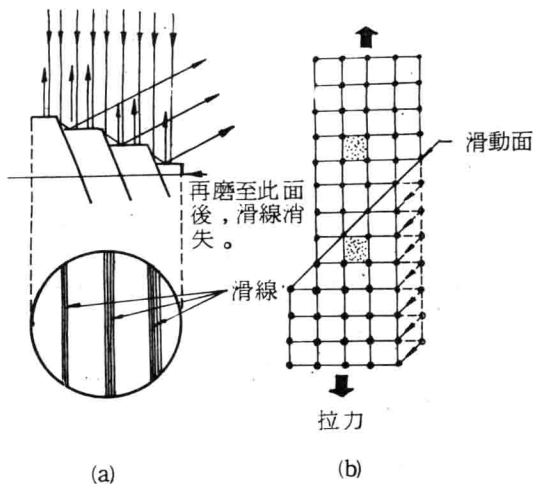


圖 1-2 滑動變形的特徵

由**雙晶** (Twin) 引起的塑性變形，係以中央界面來區分，一方的結晶發生旋轉，而和另一方不旋轉的結晶成為對稱，此對稱面叫做**雙晶面** (Twinning plane)，雙晶面總是成對產生，而形成雙晶帶 (即產生塑性變形部位)，雙晶與滑動相比較，因雙晶的變形結構較複雜，故較難發生。

當變形速度快和變形溫度低，會促使雙晶變形的產生，如 α — 鐵晶體用液態氣冷卻後，再受劇烈的鍛擊而產生的雙晶變形，亦稱為**諾孟帶** (Newmann band)，又如正方格子結晶的 α — 錫棒，發生雙晶變形時的音響，稱為**錫鳴** (Tin cry)；後者為**退火雙晶** (Annealing tin)，譬如銅及富銅之銅合金等面心立方格子結晶金屬，受常溫加工後，退火時所產生之雙晶變形。

發生雙晶變形後結晶的方向已經改變了，所以將發生雙晶變形的部份研磨平滑後，再用顯微鏡觀察時，在發生雙晶變形的部份，仍然可以看得到雙晶帶，如圖 1-3 所示。

圖 1-4 所示，表示雙晶部份的原子排列，圖中 x 符號係未產生雙晶變形前的原子所在位置，雙實線是雙晶面，產生雙晶變形後原子位置與發生雙晶變形前位置作比較，得知①~①面上原子由原來位置，沿平行雙晶面之原子面滑動了 $\frac{1}{2}$ 原子距離，到達了

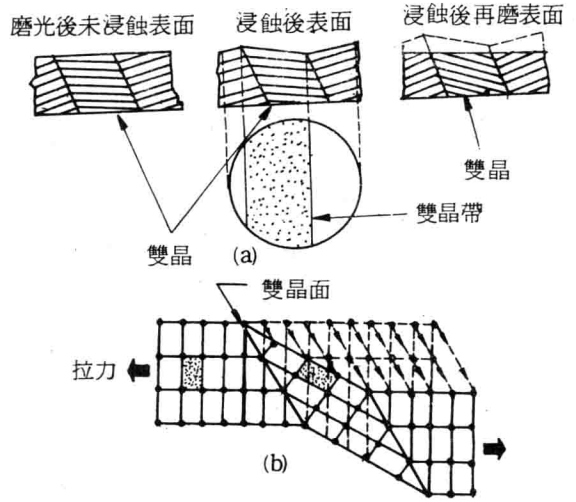


圖 1-3 雙晶變形之特徵

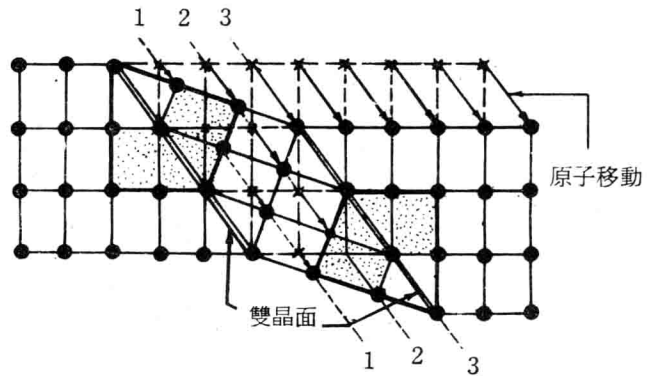


圖 1-4 結晶格子由雙晶引起的應變情形

新位置，②～②滑動了 1 個原子距離，③～③滑動了 $1\frac{1}{2}$ 個原子距離，④～④滑動了 2 個原子距離，易言之；平行於雙晶面的各個原子面上的原子，會沿著自己的平面產生滑動，其滑動距離與雙晶面到該原子面的距離成正比，雖然每一原子面的原子滑動距離數值不同，但是①～①面，②～②面，③～③面，與④～④面等，的原子相對滑動量均相同，換言之；雙晶部份的各原子面，對鄰近的原子面能產生 $\frac{1}{2}$ 原子距離之等量滑動。可視為受到相同

6 塑性加工

剪應力而同時產生**協調滑動的動作**（Process of homogenous shear）。

滑動很容易沿晶體的特有格子面及結晶方向而產生，然後延伸至其他面，如圖 1-5 所示；圖 1-6 所示；為六方密格子金屬單結晶之塑性變形。

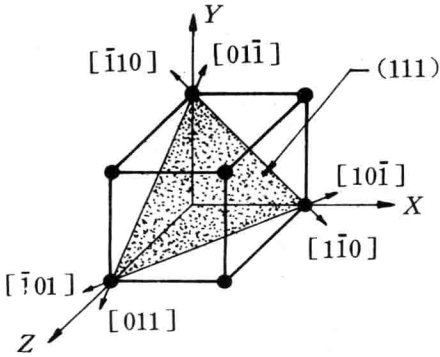


圖 1-5 面心立方格子型金屬的滑動面及其方向

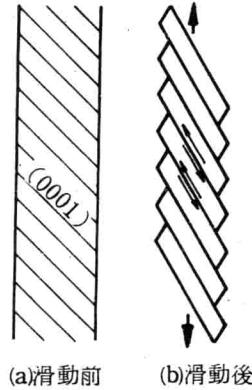


圖 1-6 H.C.P. 單結晶之滑動變形現象

金屬產生滑動的方向，係由結晶格子型而定，結晶內最容易滑動的格子面是原子密度最大的面 $\{hkl\}$ ，該格子面內最容易滑動的方向是原子密度最大的格子直線方向 $\langle hkl \rangle$ ，如圖 1-5 所示，面心立方格子結晶之滑動面和滑動方向，其內部容易滑動者，亦即易起塑性變形，換言之這類金屬的延伸性大，金屬材料的強度大或硬度高，乃表示此金屬不易變形，欲使其產生滑動或雙晶變形需要施予較大的力量。

多結晶金屬因受毗鄰結晶的障礙，比較單結晶體難於產生滑動，故材質較強硬，多結晶體晶粒愈細緻，材質愈強硬，此亦為其特性。

1-3 差排

使結晶體產生面間滑動的最小剪應力曰**臨界應力**（Critical shear stress） τ_0 ，即是說外力負載的剪應力所產生的滑動方向

，超過了臨界剪應力時，結晶就會開始滑動，此產生滑動所需之最大理論剪應力 τ_0 為；

$$\tau_0 \approx \frac{G \cdot b}{2\pi a} \quad \text{此處：} a \text{ 為結晶粒直徑，} b \text{ 為兩晶粒中心距離}$$

$$\text{若 } a \cong b \quad \text{則； } \tau_0 \cong \frac{G}{2\pi} \cong \frac{G}{6}$$

由此可知完整結晶的臨界剪應力約等於剛性係數 $\frac{1}{6}G$ ，此處 G 為材料的**剛性模數**（Modulus of rigidity），表 1-1 為數種通常使用之**滑動系列**（Slip system）列表以供參考。

由表 1-2 所求得之理論臨界剪應力，與實測數值相差非常大

表 1-1 金屬的滑動系統

結晶格子型	金 屬 例	滑動面	滑動方向	滑動組合數
B. C. C.	α -Fe, Mo, Na, W	{100}	$\langle 111 \rangle$	12
B. C. C.	α -Fe, Mo, Na, W	{211}	$\langle 111 \rangle$	12
F. C. C.	Ag, Al, Au, Cu, γ -Fe	{111}	$\langle 110 \rangle$	12
H. C. P.	Cd, Mg, α -Ti, Zn	{0001}	$\langle 1120 \rangle$	3
H. C. P.	α -Ti	{1010}	$\langle 1120 \rangle$	3

表 1-2 各種金屬之臨界剪應力 (kg/mm^2) 之理論值及實驗值

金 屬	理 論 值	實 測 值	理論值/實測值
Cu	640	0.10	6400
Ag	450	0.06	7500
Au	450	0.092	4900
Ni	1100	0.58	1900
Mg	300	0.083	3600
Zn	480	0.094	5100