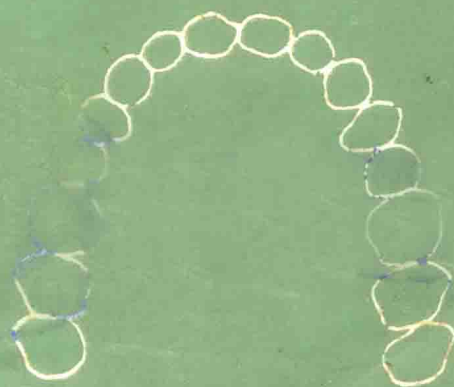


Skinner 氏

牙科材料學

RALPH W. PHILLIPS 著

高資彬 • 翁秀和 • 譯



448

合記圖書出版社

Skinner 氏

牙科材料學

RALPH W. PHILLIPS 著

高資彬 • 翁秀和 • 譯

合記圖書出版社發行

中 國、臺北市

局版臺業字第 0698 號

著作權註冊內版著字第 9525 號

中華民國 66 年 5 月初版

牙 科 材 料 學

譯 者：翁 秀 和 • 高 資 彬

發 行 所：合 記 圖 書 出 版 社

發 行 人：吳 富 章

總 經 銷：合 記 書 局

地 址：臺 北 市 吳 興 街 209 號

郵政匯款：劃撥 6919 號 電話 7019404 號

印 刷 廠：三 文 印 書 館

地 址：臺 北 市 和 平 西 路 三 段 二 巷 十 九 號

電 話：3 6 1 4 1 0

銘謝

首先，我衷心感激所有同仁經常在我需要時，不吝惜犧牲時間、精力和學識，賜予協助；其中，特別感謝 **M.L. Swartz 氏**，**R.D. Norman 氏**，**R.J. Schnell 氏**，和**R.V. Mehra 氏**。

在牙科材料學和相關學科方面，我們曾竭力徵求無數專家、研究人員和教學者的意見；雖然，本版限於篇幅，無法容納全部建議；假如本版在科學正確性方面有所長進，其好評應歸屬這些學者、專家。他們對於我所提，某種知識上的徵詢暨瑣碎的問題，都立即而熱心地回覆。熟悉牙科文獻的學者們對於所列的人名，應當久仰其名、耳熟能詳、如雷貫耳的了。

這些人士為：**C. W. Fairhurst 氏**，**E. J. Molnar 氏**，**G. M. Brauer 氏**，**D. C. Smith 氏**，**A. R. Docking 氏**，**J. F. Glenn 氏**，**D. B. Mahler 氏**，**J. P. Nielsen 氏**，**C. E. Ingersoll 氏**，**A. D. Wilson 氏**，**J. J. Tuccillo 氏**，**R. Neiman 氏**，**R. L. Bowen 氏**，**M. Braden 氏**，**J. W. Mclean 氏**，**M. J. Ridge 氏**，**F. H. Freeman 氏**，**K. H. Strader 氏**，**G. Wing 氏**，**J. M. Gardell 氏**，**J. W. Stanford 氏**，**J. Autian 氏**，**J. Gresson 氏**，**D. Waller 氏**，**W. B. Eames 氏**，**J. M. Powell 氏**，**W. Lefkowitz 氏**，**R. Y. Barolt 氏**，**M. R. Lund 氏**，**P. Binon 氏**，**G. Ryge 氏**，**D. L. Smith 氏**，以及**H. Wm. Gimore 氏**。

Mr. R. C. Scott 氏暨其同僚也曾不憚其煩地參與新插圖的製作工作。

本書的再版，是一件令人興奮却非常艱苦的工作；假如沒有我的秘書 **Mrs. Edith Gladson 氏**過人的才華和耐性，本書必定不能夠付梓。她不倦而且以必要之正確性從事打字、校樣和索引的準備工作。**W. B. Saunders 公司**的**Mrs. Mlee Walters**所提改革編排方面的建議，毫無疑問地，將使本書更具可讀性；而同屬該公司的**Mr. George. W. Laurie 氏**，對稿樣的正確暨版面的悅目與否，也一再提出必要的指正。

3.4.11.12

牙科材料學

——目 次——

第一章 緒論.....	1
第二章 物質的構造黏着力.....	7
第三章 牙科材料的物理性質生物學性事項.....	23
第四章 生石膏生成物：硬化的化學基本原則.....	45
第五章 生石膏生成物：技術事項.....	61
第六章 印模膠.....	69
第七章 氧化鋅——丁香醇 印模糊.....	77
第八章 水膠性印模材料：可塑性水膠體理論上之討論.....	87
第九章 水膠性印模材料（繼續）不可逆性水膠體技術事項.....	97
第十章 彈性橡膠類印模材料	115
第十一章 合成樹脂之化學	133
第十二章 義齒床基樹脂：技術事項	153
第十三章 義齒床基樹脂；技術事項（續）其他樹脂和其術式	169
第十四章 修復用樹脂	185
第十五章 金屬：固化暨結構	206
第十六章 鍛製金屬：變形應變硬化 再結晶與晶粒的成長	217
第十七章 合金的組成.....	225
第十八章 固態反應 熱處理.....	241
第十九章 光澤消失（生銹）與侵蝕.....	245

牙科材料學下冊目次

第二十章	牙科用汞齊合金、汞齊的金相學.....	255
第二十一章	牙科用汞齊：尺寸變化、強度、流動與潛變.....	267
第二十二章	牙科用汞齊：技術事項.....	283
第二十三章	直接充填用金鑲其操作法.....	307
第二十四章	牙科鑄造用金合金.....	319
第二十五章	嵌體鑄製用臘.....	333
第二十六章	嵌體鑄製程序用生石膏包埋劑.....	343
第二十七章	金嵌體的鑄製程序：理論性事項，包埋劑膨脹術式，包埋程序.....	356
第二十八章	金嵌體鑄製程序（續）：蠟的燒除與鑄製不完全鑄製件.....	373
第二十九章	密封和絕熱用之牙科水門汀，水門汀基質.....	391
第三十章	矽酸水門汀，窩洞漆和襯裏劑暫時修復體.....	417
第三十一章	牙科陶瓷.....	439
第三十二章	牙科黃金合金線.....	463
第三十三章	黃金合金焊接劑焊接程序.....	469
第三十四章	碳鋼：其成份和加熱處理.....	487
第三十五章	牙科鑄型所用之鉛鎳基本合金.....	493
第三十六章	用牙科牙鑽切割之力學.....	505
第三十七章	磨蝕和磨光牙粉.....	519
第三十八章	煅基本金屬合金——焊接和熔接.....	533
附 錄		547
索 引		549

第一章 緒 論

INTRODUCTION

歷史淵源 (Historical Background): 極令人訝異地，儘管牙醫工作早在耶穌紀元以前，既已存在，有關牙科材料學暨其操作法 (manipulation) 的歷史。却極短，譬如：腓尼基人 (phoenicians) 及古義大利人 (Etruscans)，在製作部分義齒 (partial denture) 上，曾利用金屬帶環 (band) 與金屬線 (wire)。而金箔 (gold foil) 被引用到修復的歷史更是久遠，甚至無法考據其淵源。

近代牙醫學被認為始於1728年，是年，**Fauchard**氏發表了論及多種牙齒修復形式的論文，並包括用象牙製作義齒的方法。其後，於1756年，**Pfaff**氏首先發表了用蠟 (wax) 取模的方法，並據此以熟石膏 (plaster of paris) 灌得模型。而 **de Chamant** 氏獲得製作瓷牙 (porcelain teeth) 專利的那年——1792年，更是值得一提，它導致次世紀初期瓷嵌體 (porcelain inlay) 的誕生。

極其明顯的，目前所用的許多修復暨附加材料，在過去都曾用過一段時日，只不過有關的科學資料，直到最近才通用而已。過去，它們的使用完全是一種藝術；其唯一的實驗室，是歷經長期病患的口腔。

十九世紀中期開始的汞齊 (amalgam) 的研究，是第一個喚起衆人關心的重要醒鐘。大約與此前後地，還有一些研究陶瓷與金箔的文獻。這類頗為分散的學術上的進步，直到 **G. V. Black** 氏在1895年所開始、明察秋毫的探究下，才蔚成果實；牙醫學上幾乎不可能有任何一門學問，不是經由這位孜孜不倦的工作者推動的。

有關牙科材料暨操作知識上的次一個大躍進，開始於1919年；是年，美國陸軍要求國家標準局 (National Bureau of Standards)，訂定聯邦軍務用牙科汞合金的選擇、分級規格。此研究工作由 **Wilmer Souder** 氏的領導下完成，而於1920年，提出一份絕佳的報告。此報告曾受牙醫界熱烈的接納，同時，牙醫界對其他的牙科材料，也要求能有類似形式的資料。

當時，美國政府無法籌措足夠的經費繼續此一工作，因此，溫斯頓研究實驗所 (Weinstein Research Laboratories) 提列了一項獎學金；在此種安排之下，贊助者供給研究生所需的薪資，以及特定量的器材、設備等。於是，研究生的工作，在幕僚人員的指導下，在國家標準局展開。他們都是私人資金支持的實際幕僚，在這種安排下的所有發現，被視為社會財產，均予公開發佈。

R.L. Coleman 氏、**W.L. Swanger**氏與 **W. A. Poppe**氏等，就是在這種安排下，首先被任命為研究生的。他們在 **Dr. Souder** 的指導下，研究牙科用鍛製金 (wrought gold)、鑄製金 (casting gold) 以及其他鑄造用材料。結果，提出一份精闢而且極具價值的研究報告。

1928年，國家標準局所屬牙科研究獎學金，改由美國牙醫協會（American Dental Association）僱受。美國牙醫協會領導下的研究工作，以及國家標準局幕僚人員的作業，對牙醫界的貢獻，是無從估價的，同時，也給他們贏得了國際性的名望；其姓氏，諸如：**Wilmer Soulder** 氏、**George C. Paffenbarger** 氏、**William T. Sweeney** 氏等，毫無疑問的將以開創熱烈研究牙科材料產品新紀元先驅的身分，永垂青史。這些人士的熱忱，更激勵了美國暨國外牙科學校所授牙科材料學初級課程的編成。

美國牙醫協會規格（American Dental Association Specifications）：美國牙醫協會研究部門區分為好幾類，包括：測定具有臨床價值之牙科材料的物理、化學性質，以及新材料、新器械與測驗方法的研究發展。總之，此機構的主要目標在於，為牙科材料釐訂標準、或規格，並為符合此等要求的產品立證。這些規格，是評定某些特殊牙科材料價值的基本標準，換句話說，就是對某一材料物理、化學性質的要求，保證只要牙醫師操作正確，材料永遠令人滿意。祇要某一種材料的規格一經列出，任何廠家均可向美國牙醫協會證明，它的產品符合特定規格的要求。而經過測試，若真正符合特定規格的要求，它的註冊名暨產品名就被刊登在美國牙醫協會期刊（*Journal of the American Dental Association*）上，同時，廠商也可以在標識上附上業經美國牙醫協會審合的字樣。

最初，美國牙醫協會的牙醫研究評議會，是釐訂牙科材料之規格暨標準的主要機構，自從牙科材料暨器材評議會（*Council on Dental Materials and Devices*）成立以後，才卸下此一重任。在作用上，評議會是美國國家標準局（ANSI）所屬兩委員會的行政監察單位；其一為：美國國家標準局委員會 Z156，職掌除了藥物、放射線底片、機械以外，其他關於牙科的所有材料、器材的命名、標準與規格；另一為：美國國家標準局委員會 PH6，專司放射線底片、機械與器材標準、規格之釐定。

此二委員會參照評議會所提的建議，在屬委員會（subcommittees）的協助下，訂定並公佈規格。每當某一規格經過標準委會（Standards Committee）同意以後，轉由大會提呈美國國家標準局，經其接受，即成為美國的國家標準。如此說來，牙科材料暨器材評議會，擁有是否接受其為美國牙醫協會規格的取決權。

目前，有23種美國牙醫協會規格；而此規格數正急遽增加，以涵括目前尚未被包含於任何規格之材料與器械。此外，也不時定期修正既存的規格，以迎合產品製造上的改變，以及有關材料在口腔內作用新知識的更迭。例如：美國牙醫協會第一條有關汞合金的規格，業經訂正4次。

國際標準（National Standards）：多年來，許多人對建立牙科材料國際級規格一事，亟感興趣。有國際聯邦牙醫組織（*Fédération Dentaire Internationale*；FDI），以及國際標準組織（*International Standards Organization*；ISO）等機構，朝此一目標邁進。FDI一開始就積極而且熱烈地訂定了釐訂國際牙科材料規格的作業計劃；活躍的結果，釐定了9項規格。

至於 ISO，則是一個國際性而非政府性的組織，主要目標在於：發展國際級的標準，是一個由51個國家標準組織構成的機構；美國國家標準局即為美國方面的成員。由於衆人誤認為

FDI 規格就等於 ISO 標準，因此，FDI 向 ISO 提出要求，而導致 ISO 委員會——TC106，Dentistry——的成立。此委員會專責釐訂術語、試驗方法、牙科材料、器材、裝置暨裝備的規格。

由於本委員會的組成，導致釐定材料性質時，大多採用國際單位（international unit）。目前，這類國際單位業已普見於規格暨科學文獻上；為讀者便利起見，本書的索引內附有換算表。

ISO 委員會有11位正式委員暨20位觀察員。目前，已有9項 FDI 規格被 ISO 所薦用；因此，就達成大量增加牙科材料與器材國際性規格化的終極目標來說，可說是已有長足的進展。

這類規格對牙醫界的貢獻，是無法評價的。他們為牙醫師提供了正確而可靠的選擇標準；換言之，牙醫師若能採用合於規格要求的材料，就可確信該材料必定令人滿意。就美國高水準的牙醫作業而言，再沒有任何比這些規格貢獻更大的因素存在。牙醫師必須對這些規格所要求的，有充分的認識，才能確認牙科材料在使用上的極限。其極限正如同以下諸章所經常論及的，在修復的作用上，沒有任何牙科材料，能像義肢、義足替代原來部位那樣的完美。

基於上述此種以及其他諸多理由，美國牙醫協會牙科材料暨器材評議會督導下的牙科材料的研究重心擺在牙科材料既存的狀況下，其與活體的關係如何。以下諸頁將經常提到美國牙醫協會牙科材料的規格，惟省略有關實際測試的細節；乃由於作者認為，學生均擁有、或可自由使用最新牙科材料指引（Guide to Dental Material）的複印本。

牙科材料指引是一本小冊子，可用象徵性的代價，自出版商——The American Dental Association, 211 East Chicago Avenue, Chicago, Illinois——購得。為確保內容能够合於潮流，此書每隔二、三年增訂發行一次；不但詳列美國牙醫協會的規格，還附有極佳的目錄，覆述最近的有關研究，以供參考，而且，附有最近審核合格產品的商品名。

其他研究中心（Other Research Centers）：國家標準局所做的工作，激勵了其他國家也從事類似的研究；在澳洲，新成立了聯邦牙醫標準局（the Commonwealth Bureau of Dental Standards），第一任行政官是 H.K. Worner 氏，目前則在 A.R. Docking 氏強有力的領導之下。澳洲的研究者訂定了許多適用於澳洲的牙科材料規格。

許多美國暨國外的大學，成立了研究牙科材料的實驗室，而在過去幾年，本學科的基礎性資料，源自於此者，遠超過其他來源的總和。直到晚近，大學內牙醫的研究活動，才被集中，侷限於那些設有牙醫學院者；大部分的調查工作，才得以在牙醫學院本身所屬牙醫教授團之手裡完成。但是，目前牙科材料的研究工作，仍有在某些沒有牙醫學系的大學進行者；諸如牙科規格性的研究，皆由該基本學科部門掌理，譬如：冶金學（metallurgy）、結晶學（crystallography）、材料學（materials science）、工程學（engineering）、陶瓷學（ceramics）等。此種牙科材料研究範圍的擴展，正顯示出科學互不可分的真諦。

臨床牙醫師，對本學科，也有不可計數的貢獻。任何材料、或手法的成敗，其最後的徵驗標準，端視它在患者口腔內的作用如何而定。機警的臨床醫師，藉着他敏銳的觀察力與成敗的分析，貢獻了無價的資料；精確的記錄暨良好控制下的作業，為未來更好的臨床研究，奠定了最佳的

基礎。

另一個資料的來源是，牙科材料製造廠的研究實驗室。有遠見的廠家，早就確認研究實驗室在其產品之開發暨品質上的重要性；這類集團所提供不偏不倚的資料，尤具價值。於本版的增訂過程中，曾獲得來自牙醫、或非牙科工程學家的諮議。因此，以下諸章所敘述的製作程式，應當能正確的反映出，牙醫師實際應用的商品。

研究活動的多變性，導致有關牙科材料知識的急遽成長。目前，有關牙科材料暨器械方面的研究，幾達所有牙科研究工作的 $\frac{1}{2}$ ；而研究上日益茁長的努力，使得被引介至牙醫界之新材料、器械與手法等，在數目上有顯著的增長。實是之故，現代牙醫業務，若欲與其日新月異的進展，並駕齊驅，廣泛地認識有關牙科材料之性質與作用，誠屬不容或缺者。

本科的范疇 (Scope of the Course)：並非牙科方面應用的所有材料，皆包括於本科。譬如：麻醉劑 (anesthetics) 以及藥物等，就不屬於本書的範圍。通常，牙科材料被認為是指：涵括於修復學 (restorative dentistry) —— 諸如：補綴學 (prosthodontics)、牙冠牙橋學 (crown and bridge) 以及復形學 (operative dentistry) —— 內，技工部分所用的那些材料。本書的目的之一在於，介紹各種材料給初學者，同時並研習這些材料經由牙醫師正確選擇、使用得當時的物理暨化學性質；雖然，我們仍需察及某些生物學方面的條件。本書認定，讀者對物理學及無機、有機化學方面，都有基礎性的素養。

有一門相當新的科學，被引介到大多數大學的工程課程裡，稱之為：材料學 (materials science)，是探討物質的內部結構，以及其性質是如何依附此內部結構的科學。本書編排的順序，由原子結構至大體構造，由淺而深；本書所涉及的範圍極廣，諸如：物理學、固態物理學 (solid state physics)、冶金學 (metallurgy) 等，而既然所有材料的性質，皆由這些原理所控制，理所當然的，在深論較大者之前，應先研習較小結構的特徵。

研讀第二章——論及物質的結構、以及大學物理系課程也不經常開課講授的某些材料學的原理——時，讀者應謹記，此一物質的性質與其原子、或晶體結構相關的概念的轉變。而誠如第三章所述，此類原則與牙科材料的性質，正息息相關。

讀者不難察知，本科某些其知識能力所及的某些本科的課外讀物，極其裨益。作者引用了許多 Van Vlack'氏所著「材料學原理」 (Element of Materials) 內的附圖；就有關材料學入門而言，這是一本甚獲好評，值得推薦的參考書。

儘管對牙齒諸構造暨材料方面的要求極其嚴格而又獨特，很不幸地，牙醫師與患者經常忽視了所夾雜的極限性、暨口腔內既有情況的嚴峻性；這些問題留待第三章討論。如此，讀者不難瞭解，製作令人稱心的牙科材料、或設計有效而實用的手法——即將於以下諸章，一再分別強調者——是如何的困難。

在討論物質的構造暨牙科材料的物理、生物性質之後，緊接着的兩章，專論生石膏生成物 (gypsum products) 的化學性質暨其操作法。然後，談到印模材料 (impression materials)。其後，由於經常被用來製作許多牙科構物，謹申述合成樹脂 (synthetic resin) 的化學於前，作為踏入壓克力樹脂 (acrylic resin) 領域的引言。

此外，在討論牙科金屬材料學以前，有一簡論，述及金相學 (metallography)、冶金物理學 (physical metallurgy) 的原則，以及金屬材料被引用為牙科材料、或製作過程當中，失去光澤暨腐蝕的現象。金屬合金的性質，是冶金物理學的基本學；至於金相學，則包括金屬材料的組成暨其結構的研究。讀者應能察知，第二章的主題正是許多議論此類問題時的基礎。

隨後，討論牙科汞合金、金箔 (gold foil) 暨其操作法。緊跟着此部分的是，牙科用金合金 (gold alloy)，以及牙科鑄造過程所引用之材料，暨手法的研究。次一章，則為有關被用在黏固腐復物，或其他目的上之水門汀 (cement) 的性質。然後，討論兩種非金屬性腐復材料——矽酸鹽水門汀 (silicate cement) 與陶瓷 (porcelain)。最後幾章，則泛論鑲接 (soldering) 時的手法，牙科所用的基底金屬合金 (base metal alloys)，以及其他技術性方面的作業，諸如：用牙鑽打磨 (abrading)、打亮 (polishing) 暨削切 (cutting) 等項。

讀者不難發覺，在介紹資料時，將涉及許多科學的分派；諸如前面所曾提及的材料學、冶金物理學及金相學等；而陶瓷學是一門研究焙燒牙用陶瓷暨其性質的科學；此外，還引用了許多高等化學。實際上，所有應用工程學對本學科均有所助益。而且，牙醫師也逐漸瞭解，牙科材料的生物性質與其機械、或化學性質，是不容不相提並論的。實是之故，竟書一再提及選擇、或使用牙科材料時，所應顧慮的生物性特性。總之，從結論看來，牙科材料學是一門有其固有學術價值及理論的，自成一門的基礎科學。

本課程的目的 (Aim of the Course) 本課程之目的在於：提出牙科材料之基本化學、物理性質，暨其隨牙醫師之操作而發生的改變，並進而溝通醫預課程所學材料學、化學、物理與臨床牙科之間的分歧。誠如前面所述，只要從未來進一步研究當中，能獲得更多有價值的資料，那麼，牙科術式，並不需要是經驗累積下的作業，能够建立在完美而科學性的理論基礎上。

就任何基礎科學而言，理論應重於實際；因此，以下的討論將着重於，為什麼材料會如此反應；為什麼需要仔細觀察所述操作法的不同。至於，材料在廣義如何應用的問題，則屬其他牙科課程所轄。最後還談到，本科的資料是如何受材料自身的限制的問題。

本課程的重要性 (Need for the Course)：專家與技工的主要區別在於，前者能根據他既有的基本知識，為特定情況，選擇、或擬定方案，並能够達成最後所預期的目標。譬如：釘釘子的工人，只要對橋樑的合釘負責，而工程師却需負責橋樑的設計，尤其是，每一個橋樑、構架與合釘，應如何安置、如何連結、釘於何處，並選擇製作構架用的材料等。假如他對製作橋樑用鋼以及其他金屬的物理、化學性質，一無所知，毫無問題的，該建築勢必失敗。

牙醫師與工程師之間，有許多相似點；牙醫師必須分析他將製作之牙橋所承受的應力 (stress) 問題，並按分析的結果，設計牙橋；牙醫師對他所利用的，不同類型材料的物理、化學性質，必須有充分的認識，如此，在選擇上，才能作最中肯的判斷。換句話說，他必須鑑別在牙科作業上該用金合金、水門汀或合成樹脂，而惟有在他瞭解上述各種材料的物理、化學性質時，才能下決定。實際上，除了材料的機械性需求之外，牙醫師還需兼顧生理性要求，因此，使得所遭遇的情況經常比工程師更形複雜、更感困難。

只要牙醫師一經決定所應使用的材料，就等於他必須選擇經由某一廠商製作的材料。許多最

好廠商的意旨在於，以合乎「人道」的態度，與牙醫師合作，供應品質較佳的材料，但是，由於競爭激烈，牙醫師非精明地評估廠商所提供說明書的內容不可。此外，很遺憾的，有少數不道德的廠商，經常祇顧自己的利益，作誇大的宣傳、聲明而陷害了牙醫師；因此，爲了保護病人，更爲了保護自己，牙醫師必須具備辨別真偽的能力。除了其他各種目的之外，牙科材料學這一門課程，還能夠提供牙醫師選擇材料的標準，使他能夠區分良莠。

此外，還祈望學習牙科材料這一門課程的學生，能夠重視他所選擇從事職業廣博的科學觀。既然日常的牙醫業務當中，不論在治療過程、或所需的器械方面，均包括牙科材料的選擇與使用，因而牙科材料學不容忽視一事，是極其明顯的。爲謀更充分瞭解本科與其他所有牙科臨床業務上的關係，學生應參照其他教本與本論題有關的部分。

謹以爲牙科材料學的進展，必然在牙科概念、理論暨業務上，激起令人側目的改變。近代牙科材料的研究計劃暨此等發現在臨床上的應用，較諸10年以前，不啻強調了本科易變的特質。在本書內，當能發現謀求本學科與現代牙科作業契合的呼籲；而惟其如此，本行才是一種令人鼓舞、值得從事的一項職業。

第二章 物質的構造黏著力

STRUCTURE OF MATTER. ADHESION

無論如何無足輕重，任何使用材料的過程，均包括「選擇」的行為。惟有透過瞭解、或實驗才能澈底發揮材料的性質，不過，在應用方面，不可能僅為某一目的，選擇某種材料。材料工程師顯然在某因素與其他因素結抗的平衡上，才能發現對自我的挑戰與滿足。

若欲充分瞭解，並正確預測材料的性質及其反應，研究牙科所必須的材料，對物質——尤其是固體——必須有基本性的認識。無論是可塑物、或金屬，任何牙科修復物皆由原子組成。而原子間的結合反應——無論其為物理性、或化學性——皆可決定材料的效用。因此，僅先概略復習原子學說，順便建立基本觀念。

態的改變 (Change of State) 最先發生疑問的是，原子彼此間如何結合。當然，在氣體分子間有吸引力存在，而在水蒸氣凝結成液體時，以熱的形式，放出熱量——即氣化熱 (heat of vaporization)；它的定義為：1 公克的水蒸氣凝結成液態時放出之熱量。

相對地，氣化熱也可定義為：蒸發 1 公克的液體為氣體所需要的熱量。例如：蒸發 1 公克 100°C 的水，需要 540 卡的熱量，因此，可以下結論曰：氣態的能量較液態高。雖然氣態分子間，有一特定的吸引力存在，但是極容易擴散，因此，為保持其完整性，通常需加以限制。

雖然分子在液態時也會擴散，可是，相互間的吸引力較大；如前所述，需要能量才能分離。誠如所知，當液體的能量因溫度下降而充分減少時，會引起某種「態」的繼發性變化；液體因而轉變為固體、或凍結體 (freezes)，能量再次以熱的形式向外散發。此種情況下釋出的能量，稱之為：溶解熱 (latent heat of fusion)。

譬如：當 1 公克水結冰時，會散發出 80 卡的熱量。如果 1 公克的固體轉為液體，逆反應成立而且需要加入熱量。發生此種變化的溫度，稱之為熔點 (fusion temperature)。此種性質將詳述於第十五章。此溫度在牙科方面極其重要，譬如：在鑄造金合金修復物等時。

自固態轉變為液態需要如此多的能量看來，可以得一結論曰：固態原子間（或分子間）的引力，大於任何液態、或氣態。若非如此，輕易於分離；而金屬在低溫即可容易地分解、氣化。

液體沸騰、或凝固的溫度，至少有一部分需視四周的壓力而定。祇要液面上方的空間並未飽和、或過飽和，液體在沸點與冰點之間的任何溫度，當然都可蒸發 (evaporate)。假如有後者——過飽和——的情況發生，氣相會凝結成液態，直至平衡為止。使分子自液體游離之力，稱之為：液體的蒸氣壓 (vapor pressure)。

儘管固體可經由所謂昇華作用 (sublimation) 直接變成氣體，但是這種現象對即將討論的牙科材料而言，好像不具實際價值，不過，在理論上頗為重要而已。

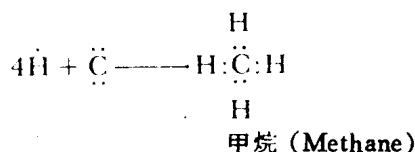
在概略複習態的變化(change of state)的理論以後，再討論對原子或、分子引力的認識。

主要原子鍵 (Primary Interatomic Bonds) 原子鍵可分為：主要價鍵 (primary bands) 與次要價鍵 (secondary bands)。主要價鍵之本性為化學性的，而次要價鍵則以物理性的為特徵。即或同為主要價鍵，也可能分屬不同的類型。

離子鍵 (ionic bonds)：離子鍵屬於單純的化學鍵，是正、負電極易相互吸引的結果。最典型的例子為：氯化鈉 (Na^+Cl^-)。鈉原子較外層的軌道上有一價電子，而氯原子較外層的軌道却有七個電子，氯原子與鈉價電子共享結果，結合成最穩定的化合物——氯化鈉。

共價鍵 (covalent bands)：就許多化合物而言，大都是共享兩個價電子的；氫分子— H_2 就是以共價鍵結合之一例。每一個氫原子皆與另一結合原子共享對方的價電子，價軌道並因而而穩定。

共價結合所以極為重要的原因，是由於得見於許多有機化合物的緣故。碳 (carbon) 原子有 4 個價電子，可藉與氫結合而趨穩定：



就瞭解如第11章所述牙科合成樹脂的分子構造暨其聚合反應 (polymerization reactions) 來說，這種結合方式是非常重要的。

金屬鍵 (metallic bond)：第三種形式的主要價鍵，稱之為：金屬鍵。這種形式的原子鍵將詳述於第15章。

凡得瓦爾力 (Vander Waals Forces) 當然，在原子、或分子之間還有非化學性的吸引力，否則難以想像能有液體——尤其是非化學鍵組合的穩固的固體——之存在。此種類型的價鍵稱之為：次要的價鍵、或凡得瓦爾力，而這種較微弱的價鍵，與其說是化學性的，勿寧認為是物理性的。

凡得瓦爾力能够以偶極引力 (dipole attraction) 的理論，加以釋明。譬如：發生在惰性氣體 (inert gases) 的對稱性分子，其電子場被描繪成不變的波動 (constantly fluctuating)。在正常狀況下，原子如圖 2—1 A 所示，電子均勻地分佈於原子周圍，而在原子外圍產生一靜電場 (electrostatic field)，不過，由於靜電場的可波動性，發生如圖 2—1 B 所示之瞬時性的正、或負。於是，產生了能够吸引其他類似偶極的波動性偶極 (fluctuating dipole)。儘管這種原子間的力量極其微弱，無論如何有它的存在。

在不對稱分子之間，還有更重要的永久性偶極存在，氫鍵就是這種類型最重要的典例，雖然

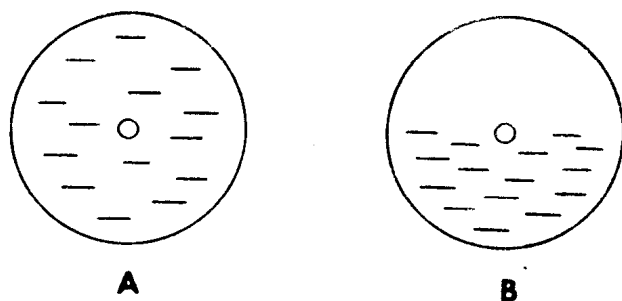


圖 2—1 通常，電子環繞正電荷的原子核，而呈中性電場（A）；然而，電子亦可瞬時性地集中在原子的某一部分（B）。

毫無疑問的，其分子內的主要價鍵是共價鍵。例如：圖 2—2 A 所示水分子電子結構的模型圖；注意兩氫原子雖與氧原子共享其價電子，然而，由於氧原子核四周的電子密度大於圍繞在氫原子核周圍的電子，因而，水分當中氧的部分，較諸氧的部分，是正極性的。因此，形成了電偶極（electric dipole）。

如圖 2—2 B 所示，當一個水分子與其他水分子相遇，由於某分子氧的部分（正極）被鄰接分子氧的部分吸收的緣故，因而發生分子間的凡得瓦爾力；這種結構就是衆所周知的氫鍵（hydrogen bridge）。這種類型的極性（polarity）在解釋許多有機化合物分子間的反應時，是非常重要的；尤其在有關牙科合成樹脂所引起水的吸收方面（參閱第 13 章），更是重要。

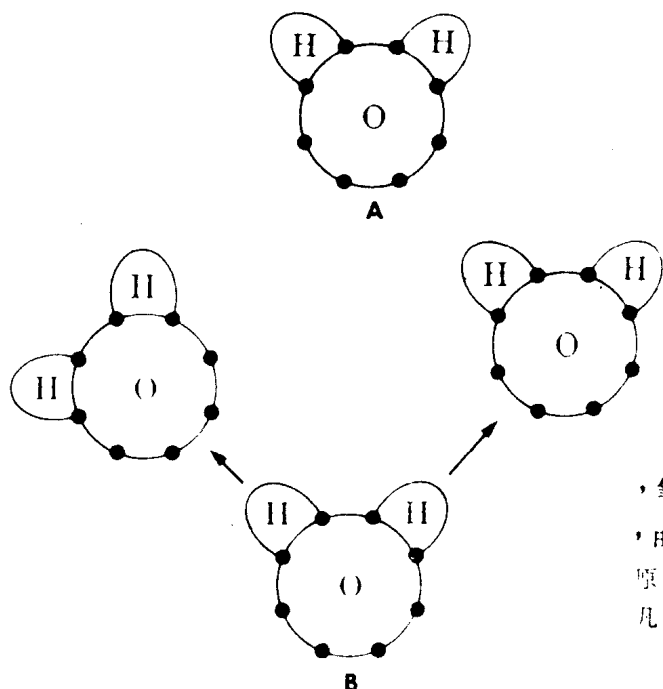


圖 2—2 A 示，水分子結構的圖解，氧原子暨兩個氫原子共享諸電子；B 示，由於裸露的氫核子被氧原子吸引——其原子核被未共享的電子圍繞而——形成的凡得瓦爾力。

原子間的距離 (Interatomic Distance) 不論固態結構的形式如何，都有阻止原子、或分子彼此過度接近的限制因素存在。譬如：自一原子中心至相鄰原子中心的距離，受制於相關原子的直徑。雖然爲了方便起見，原子被視爲有界線與體積的不連續粒子，它實際上的界線是極其曖昧地由電子的靜電場構成。假如原子靠得太近，會由於荷電子的作用相互排斥；而另一方面，吸引力却企圖將原子結合在一起。因此，如圖 2-3 所示，此類排斥力與吸引力大小相等（方向上却相反）的位置，就是原子間的正常位、或平衡位。

位於此位置上時，在大小上，排斥力等於吸引力，假如此二原子的大小相同，則介於其中心的距離爲 $2r$ —— r 爲原子半徑(radius)。B 原子受某種干擾力（諸如：機械力、熱力、或電力）可位移至 B' ；當然，也有某種干擾力足以使原子移近至如圖所示的 B'' （圖 2-3），不過，其干擾力的大小必須大於情況 B' 者；其原因在於就等距離的位移而言，電子的排斥力在量的方面大於電子的吸引力的緣故。因此，原子受壓力而能移動的距離，極短。

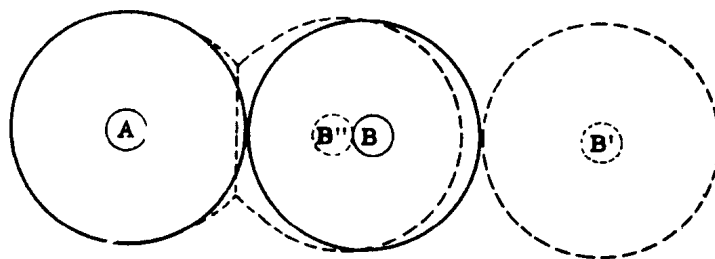


圖 2-3 位於平衡位置上兩原子 A、B（實線）的圖解； B' （虛線）自 A 移位； B'' （虛線）向 A 移位。

這種關係用如圖 2-4 所示的圖表表示；本圖表中，排斥力與吸引力被繪誌成原子間隙的函數。誠如前面所所述，吸引力隨着原子間隙的減少而增加；反之，排斥力除非原子彼此相當接近，比較上並不活躍。虛線示兩力的合力（圖 2-4）。由圖知，合力在虛線與水平軸相交處爲零（亦即兩力的大小相等時），其距離以 $O-a'$ 表示；這就是上述平衡時原子間的距離，代表所涉及原子中心之間的距離；而該力就是兩原子之間的結合力 (bonding force)。

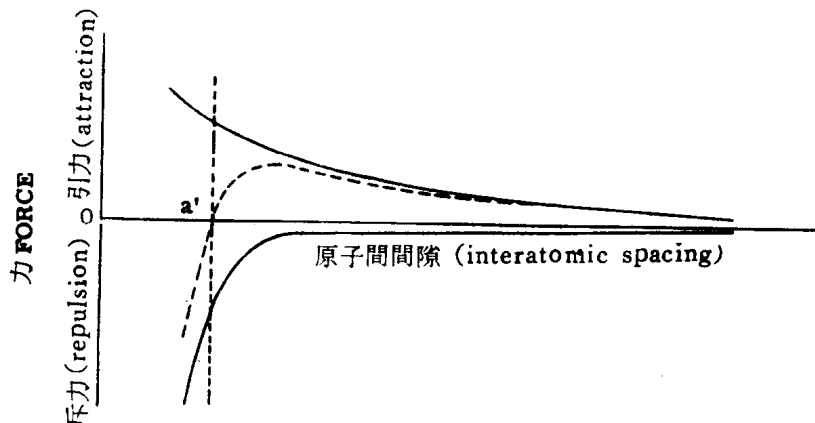


圖 2-4 原子間引力與原子間隙之關係。

結合能 (Bonding Energy) 既然平衡狀態與能量因素的關係，來得比原子間的引力密切，圖 2—4 所示的關係，可以用所謂原子間能量 (interatomic energy) 的術語，作更合理的述描。依物理學的定律，能量可以用力乘距離表示。若將圖 4—2 以虛線表示的合力 (F)，乘上各個原子間的距離 (a)，可得圖 2—5 所示之曲線。

如同圖 2—4 所示，橫軸表示原子的間隙，縱軸則表示原子間、或結合能；誠如前述， $O-a'$ 表示正常的原子間之距離。較之圖 2—4 所示的合力，能量在初期並無大量的改變；雖然原子間的引力逐漸增加 (圖 2—4)，不過原子間的距離亦同時減少，因此剛開始時力乘距離 ($F \times a$) 的積比較上尚能保持不變。當合力接近橫軸時 (圖 2—4)，能量減少，最後隨著合力變成零時，達到最低點，然後，由於排斥力的合力 (圖 2—4) 隨着原子間距離的微量改變遞增，能量驟然變大 (圖 2—5)。因此，最低能量當然與原子間距離正常時的平衡狀況相呼應。

熱能 (Thermal Energy) 回想過去所學的物理、化學課程，當能記得所謂熱能就等於某一特定溫度下原子、或分子的動能 (kinetic energy)。例如：在高於絕對零度的溫度，晶體格子內的原子恆處於不變的振動狀態；其振幅依溫度而定——溫度愈高，振幅愈大，而熱能、或內在性能量 (internal energy) 也愈大。更進一步研究圖 2—4，尤其是圖 2—5，不難獲得某些有關這種現象饒富趣味的演出。

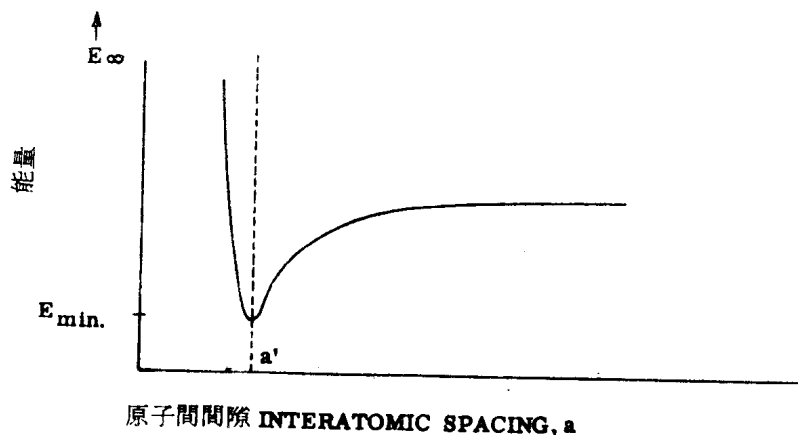


圖 2—5 原子間位能與原子間間隙的關係，本圖之 $E = \infty$ ，假如上下文之 $E \infty$ 係指原子剛分離時的能量，則如圖 2—4 示，位於點 O 。

扼要地說，就某一特定環境而言，最低能量 (E_{min}) 係指平衡狀態時的能量，亦即圖 2—5 曲線凹處的底部所示者。隨着溫度的上昇，原子 (或分子) 的振幅加大，而且，原子間的間隙及內在性能量亦加大。其外觀上的效應，正是一種被稱之為熱膨脹 (thermal expansion) 的膨脹。

如果溫度繼續上昇，原子間的間隙亦將增大，以致於發生態的改變；固體改變成液體，而液體終於沸騰變成氣體。據圖 2—5 所示，曲線的凹槽愈深，熔化、沸騰所需的能量愈大，相對地