

工程概論：機械與自動化工程簡介

(一) 機械設計與製造

余志成 副教授
機械與自動化工程系
國立高雄第一科技大學
<http://www2.nkfust.edu.tw/~jcyu/>

What is Design?
Concurrent Engineering ?

What is Design?

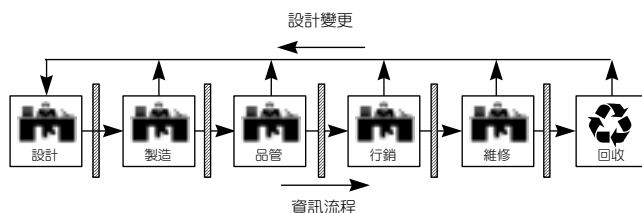
- 產品設計的價值工程(Value Engineering, VE)
 - 針對顧客對該產品的需求，作有組織的機能分析與階段式的評估，找出自規劃、設計、製造等階段具有之價值與關聯性，並以最低之總成本確實滿足顧客的需求為目標。
- 設計所運用的價值包括
 - 使用價值(Use Value)：產品效用給予人的有用程度
 - 魅力價值(Esteem Value)：因產品所具有的魅力、藝術性、特徵而使人產生的喜悅、優越感、與銘刻印象而稱之
- 高品質的產品
 - 品質的好壞乃基於顧客對產品的期望，與設計者所提供的產品之間的差距。

1980年代企業界面臨的新挑戰

- 消費者的要求提高
- 生產技術的快速變更
- 品質與成本的競爭壓力
- 環保要求的考量
- 新產品研發到上市時間的縮短
- 產品複雜度的提高
- 企業組織膨脹的影響

傳統序列式工程

■ 傳統序列式：由個人或個別專門部門進行設計



- 各功能組的專業化阻隔了部門間的溝通
- 設計階段對產品生命週期相關流程的認識不足，缺乏全盤性的規劃
- 遇到問題時相互推諉責任 (Finger-Pointing)
- 階段化設計，下游的修改需求往往造成上游設計大幅地變更，增加開發成本
- 研發時程較長

同步工程

■ 群體合作設計 (Team Design) :

- 結合產品設計的上下游；包括消費者、設計、製造、品管、維修工程師、企管、衛星廠商與資源回收業者，組成設計評估小組，使設計者在研發初期便考慮到產品生命週期中的所有重要因素，使設計對品質、成本、生產流程及使用需求能有一個完整的規劃

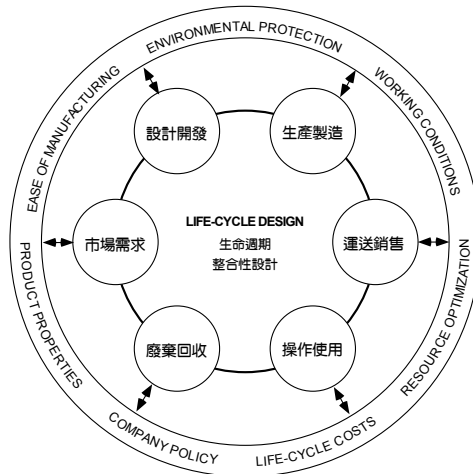
■ 目的：

- 提高品質
- 降低成本
- 縮短研發時程
- 提高顧客滿意程度



產品生命週期

- 產品的生命週期 (Product Life Cycle) 始於需求的產生與概念設計，一直到產品使用壽命終了後的廢棄與資源回收



傳統與同步工程的比較

- 傳統序列式
 - A "Re-Do Until Right" Philosophy
 - 設計修改集中於末期生產配合階段
 - 修改需求提出延遲，因而提高回溯設計變更所需要的成本
 - 設計變更造成產品上市時程的延誤將明顯的影響產品的獲利率
- 同步工程
 - A "Right First Time" Philosophy
 - 設計修改集中於開發初期，目的在預防設計將來在配合製造、裝配、使用與維修可能產生的問題，整體設計變更次數較傳統序列式少，因而縮短研發時程
 - 把設計變更需求提前至開發初期，將可減少整體設計成本，並避免因必須妥協現況而犧牲產品性能

設計變更的成本

- 工程設計變更的支出隨著變更發生在產品生命週期階段的早晚而呈對數比例的增加

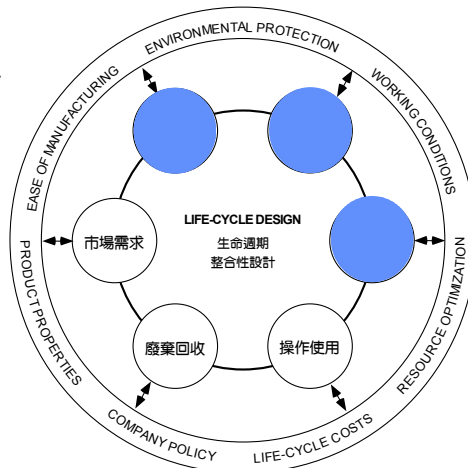
設計變更發生的時間	設變支出
設計階段	\$ 1,000
設計測試階段	\$ 10,000
製程計畫階段	\$ 100,000
試量產階段	\$ 1,000,000
實際量產	\$ 10,000,000

Source: Business week, April 30, 1990

Design For X (DFX)

適宜生產的設計

- 適宜製造的設計
 - Design For Manufacture
- 適宜組裝的設計
 - Design For Assembly

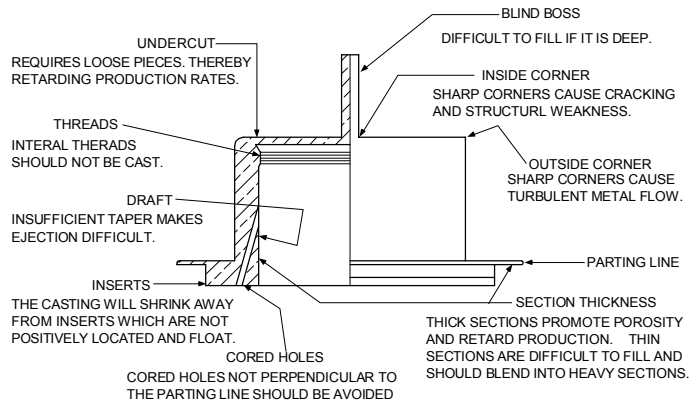


適宜製造之設計

- 適宜製造的設計 (Design for Manufacture, DFM)
 - 在設計過程中即考慮所選擇的製程，並了解製程的限制與特性以及零件幾何設計應注意的事項，以設計出適宜製造的產品
- 可製造性分析的方式
 - Team Review
 - 設計經驗法則
 - 電腦輔助可製造性分析及專家系統
- 不適宜製造的設計例
 - 工件表面過細的表面粗糙度或尺寸公差設定
 - 塑膠射出成型件厚薄差異太大造成成品缺陷
 - 板金件孔槽位置太接近板件彎折線造成孔槽變形

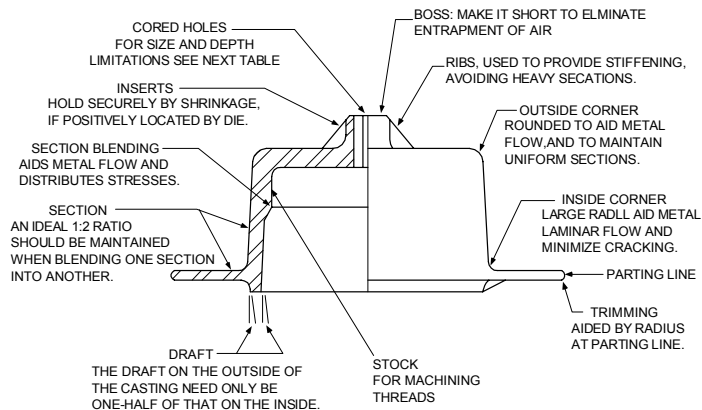
壓鑄件的幾何設計

■ 不當的鑄件設計



壓鑄件的幾何設計

■ 適宜鑄造的設計

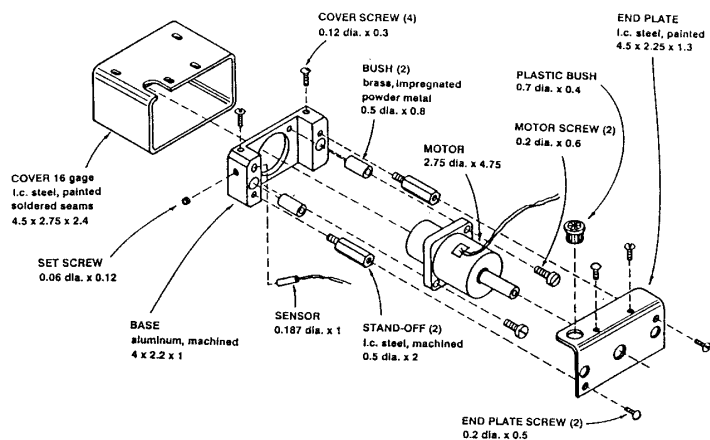


適宜裝配之設計(DFA)

- 裝配過程包括零件的持取、結合與檢驗，適宜裝配的設計，分析設計的幾何形狀、裝配方式、動作特性，以減少零件數目與種類、簡化固定方式、自動定位等方法，來減少組裝成本
- 基本設計原則
 - 減少零件數目與種類
 - 便利於零件持取(Handling)處理
 - 減化裝配的方向
 - 減少對位與零件轉向
 - 自動對位之設計
 - 避免使用分離之固定件(Fasteners)
 - 提供足夠之零件安裝空間

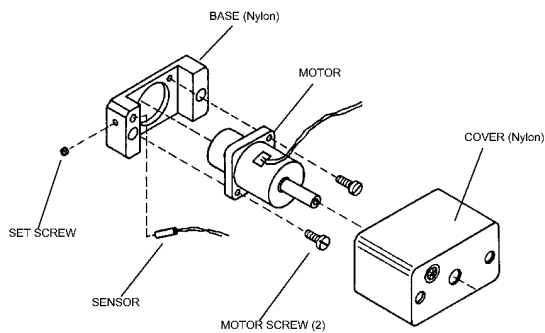
線性驅動器原始設計

- 零件數目：19



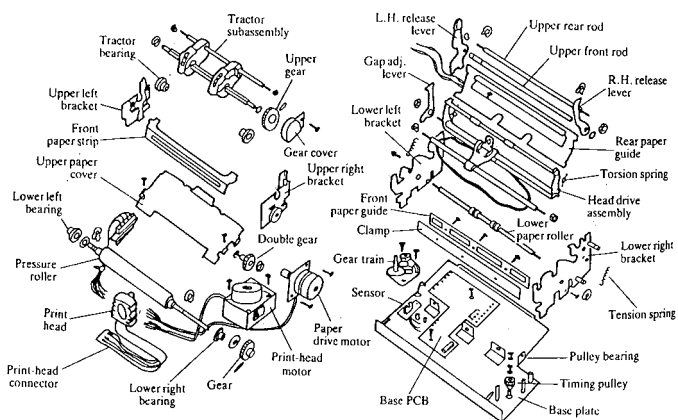
線性驅動器改良設計

■ 零件數目：7



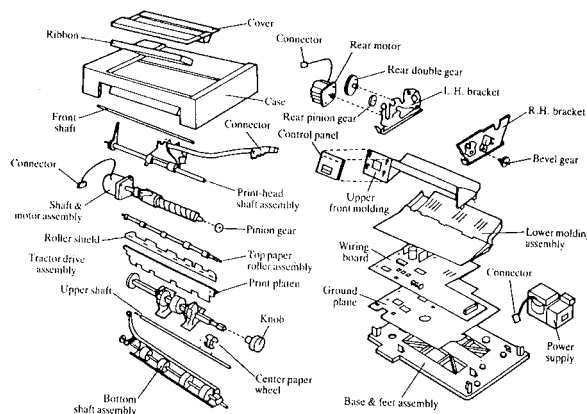
點陣式印表機的設計

■ EPSON MX80 Subassembly



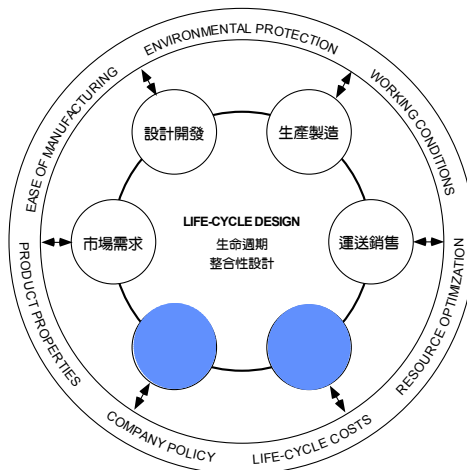
點陣式印表機的DFA設計例

- IBM Proprinter以DFA的觀念進行產品改良設計，只使用了32的元件與次組件，以32個組裝動作，在三分鐘內便可完成印表機的組裝



後製程分析

- 適宜維修的設計
 - Design For Serviceability
- 符合環保的設計
 - Green Design



可維修性的重要

- 產品與顧客的接觸開始於產品製造的完成，產品的可維修性直接影響保固維護成本與顧客對該產品的滿意度與信心。
- 凱迪拉克顧客公關部經理 Mark Foucher說道：
“An unhappy customer is a terrorist. Satisfied customers tell eight to ten others. Dissatisfied customers tell 16 to 20 others. Twenty-five percent of the dissatisfied customers tell as many as 40 other people”
- 提高可維修性的優點
 - 降低保固成本
 - 提昇產品形象
 - 提高顧客滿意度與忠實度
 - 提高舊品出售 (Resale) 價值
 - 增加公司利潤

DFA vs. DFS

- 三片式的機車座周車體設計



■ 一體成型的機車座周車體設計



可維修性

■ 影響可維修性(Serviceability)的主要因素

- 嚴重性 (Severity)：該元件故障對顧客需求的影響性
- 失效機率 (Failure Probability)：元件的故障機率
- 可偵測性(Diagnoseability)：診斷故障問題所在所需的困難度
- 可接近性(Accessibility)：是否有足夠的空間，能夠維修或調整某一零件或組件
- 重組裝性(Reassemblability)：零件的接合方式決定更換該零組件所需的時間、工具與技術
- 零件可修復性(Repairability)：修復調整故障零件的困難度，或更換故障零件的零件成本

設計環保性的考量

- 原料與製造過程所消耗的能源與產出的廢料多少，盡量採用低能源、低廢料的製造方式
- 避免使用對環境具有毒性的材料
- 產品使用過程所消耗的能源與污染為何？
- 包裝與產品報廢後如何處理？
 - 材料再生(Recycling)：拆解的難易度、材料彼此的相容性、材料的污染性、與目前材料再生技術的配合性如何？
 - 元件重複使用(Reuse)：拆卸的難易度、預期使用壽命、元件的標準化、整修的費用多少？
 - 掩埋與焚化：是否具有毒性？可燃性如何
- 從設計影響產品的環保性

適宜回收的設計

- 基本法則
 - 減少零件數目，以減少回收過程中拆卸的開支
 - 設計具有回收標誌的零件，可減少回收辨識的時間
 - 降低材料種類數目，並採用相容性高的材質
- BMW 300系列車輛 80%的元件及材料，可回收再生使用，並增加採用回收再生材料



機械元件

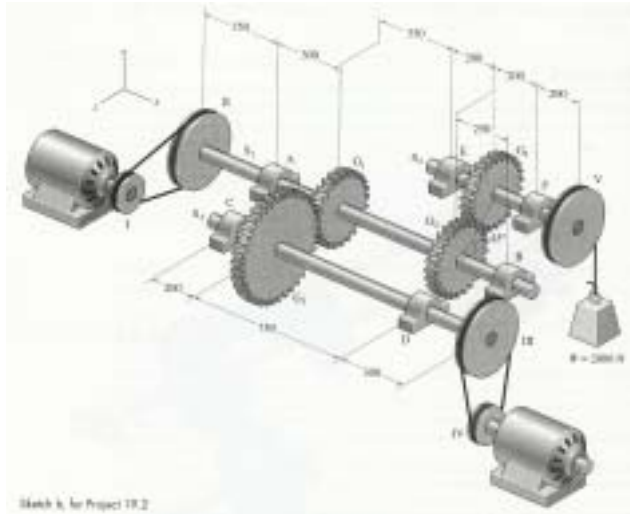
主要機械元件

- 軸
- 齒輪
- 軸承
- 連桿
- 煞車
- 連桿
- 彈簧
- 撓性傳動件：皮帶、鏈條
- 連接件：螺釘、鉚釘



基本傳動結構

- 馬達、皮帶輪、軸、軸承、齒輪、負載



齒輪

正齒輪



斜齒輪

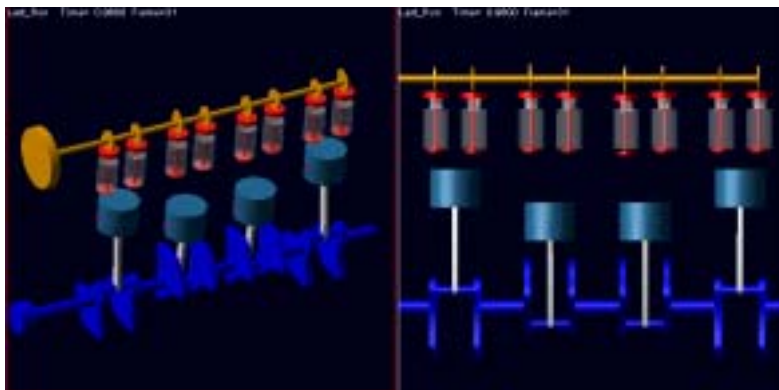


蝸桿與蝸輪



連桿

- 基本引擎結構：活塞、彈簧、凸輪、連桿、曲柄軸



滾動軸承

滾珠軸承：
主要承受徑向負荷

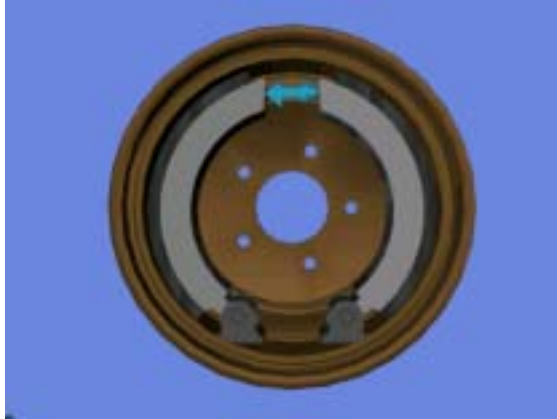


斜滾子軸承：
可承受軸向與徑向力



煞車

■ 鼓式煞車



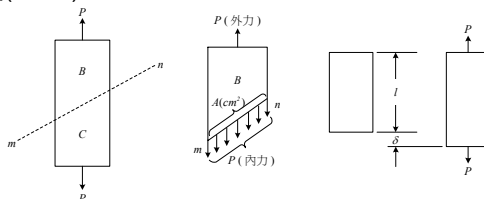
結構設計與破壞分析

結構應力與應變

■ 結構的應力與應變

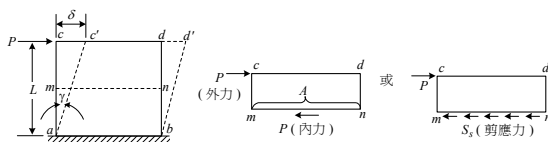
- 拉伸與壓縮

- 應力(stress): $\sigma = P/A$
- 應變(strain): $\varepsilon = \delta/L$



- 剪力

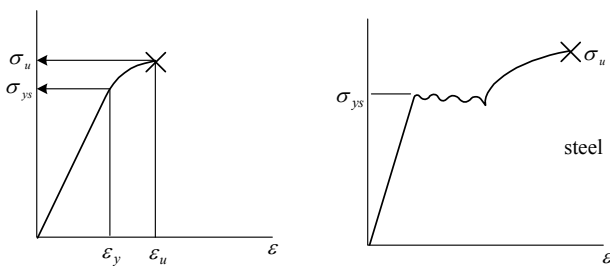
- 剪應力(shear stress): $S_s = P/A$
- 剪應變(shear strain): $\gamma = \delta/L$



破壞分析

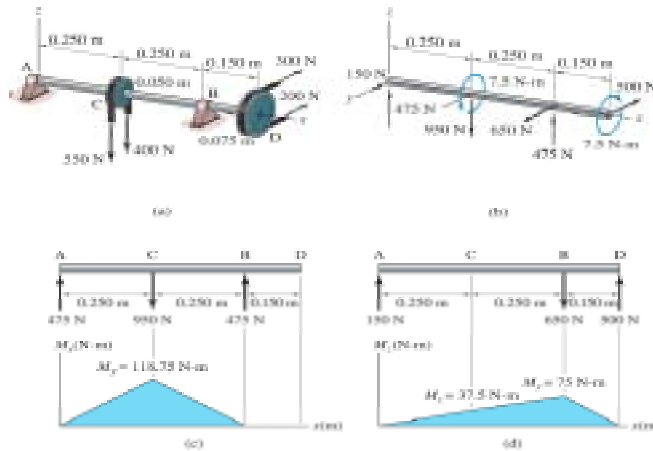
■ 拉伸試驗 - 降服(Yielding)與破壞(Fracture)

- 降服(yielding): 降服應力 σ_{ys} 與降服應變 ε_y
- 破裂(fracture): 極限應力 σ_u 與極限應變 ε_u
- 失敗(failure)



結構應力分析與設計

- 等效結構與應力計算
- 結構設計：容許設計應力 $\leq$ (極限應力/安全係數)



結構破壞

- Mechanical Failure
 - Aloha Airlines flight 243, a Boeing 737-200, taken April 28, 1988. The mid-flight fuselage failure was caused by corrosion assisted fatigue

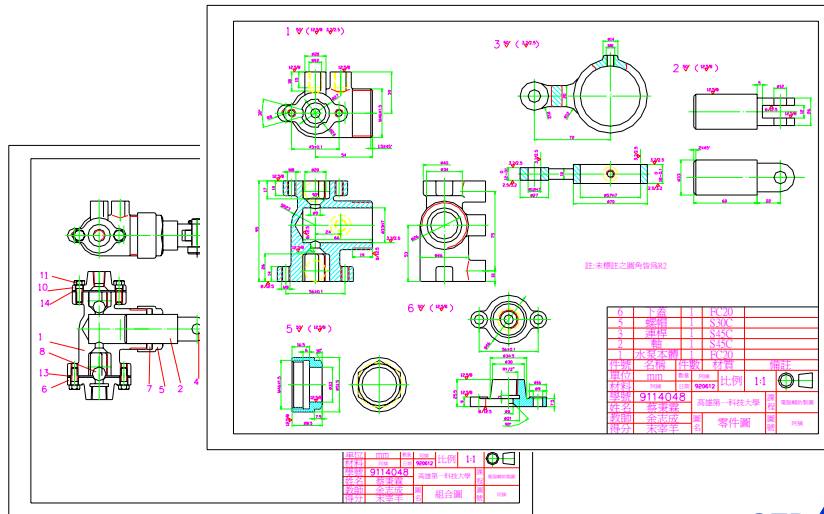


電腦輔助設計

電腦輔助設計

- 電腦輔助設計/製圖軟體(Computer Aided Design)
 - AutoCAD / Inventor
 - Pro E
 - Catia
 - Solid Work
- 分析軟體
 - 有限元素法(Finite Element Method):ANSYS
 - 計算流體動力學分析 (Computational Fluid Dynamics)
- 動態機構分析軟體
 - ADAMS

■ AutoCAD (2 dimensional)



■ Solid Modeling (3D)

- Inventor
- Pro E
- Catia
- Solid Work



■ 有限元素法

- 結構分析 (structural)
 - 靜態: 應力
 - 動態: 自然頻率、隨機振動(random vibration)等
 - 挫曲 (buckling)
- 熱應力分析 (thermal)
- 聲學分析 (acoustic)
- 非線性分析 (nonlinear)

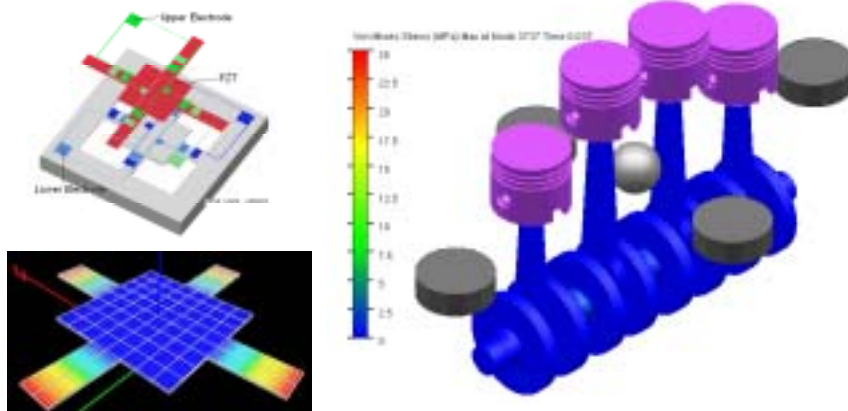
■ 其他

- 計算流體動力學分析 (Computational Fluid Dynamics)
- 電磁特性模擬 (Electromagnetic simulation)

電腦輔助工程分析

■ 格點建立(mesh)

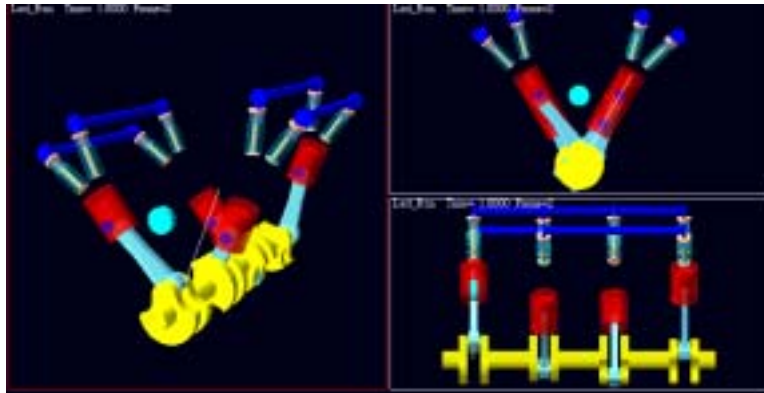
■ 有限元素分析



動態機構分析

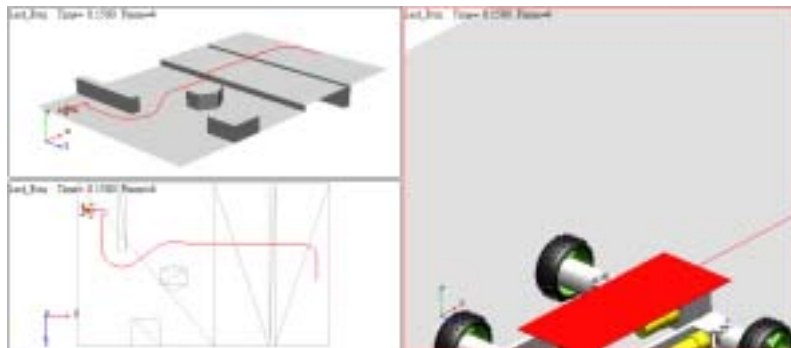
■ 機構動態模擬

- 位移、速度、加速度分析
- 受力分析



動態系統分析

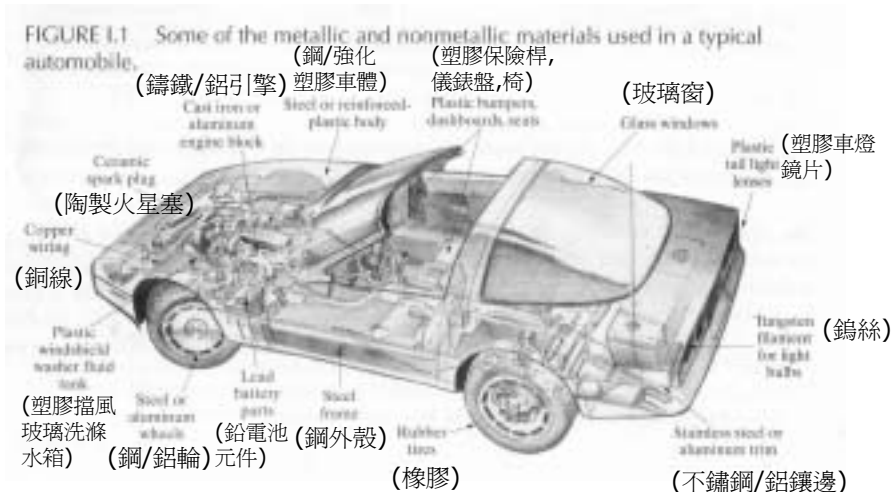
■ 動態系統：機構與互動環境



J. Yu (余志成), J. W.-C. LIAO, M.-Y. LI, and S.-H. LI, (2003), "Design and Motion Simulation of the Autonomous Exploration Vehicle", Presented at the 7th International Conference on Automation Technology, Sept. 12-14, Chia-Yi, Taiwan.

機械製造

Fundamentals of Materials



基本機械製造方式

- 切削加工
 - 車床、銑床、鑽床、磨床、雷射切割
- 版金件 Sheet Forming
- 鑄造 Casting
 - 砂模鑄造 Sand casting
 - 永久模鑄造 Permanent mold casting
 - 壓鑄 Die casting
 - 精密（脫臘）鑄造 Investment casting
- 擠製 Extrusion
- 鍛造 Forging
- 射出成型 Injection Molding
- 粉末冶金 Powder Metallurgy

Machining (切削)

- Turning (車削)



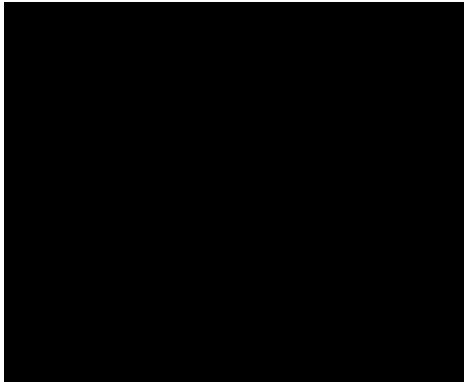
- Milling (銑削)



Machining (切削)

- Drilling (鑽孔)
- CNC(computer numerical control) Machine
 - 電腦數值控制機

CNC銑床



鑽孔



雷射切割 (Laser cutting)

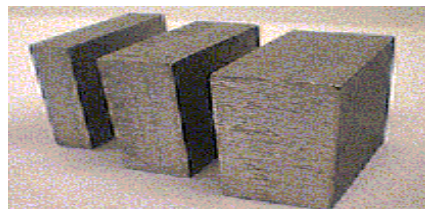


Thin sheet metal cutting

Thick section metal cutting



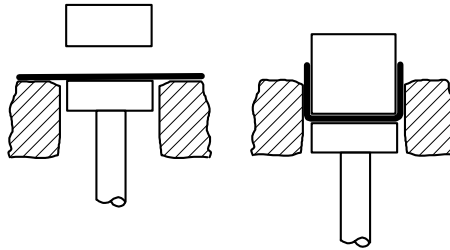
20mm 25mm 32mm 40mm steel



32mm stainless steel

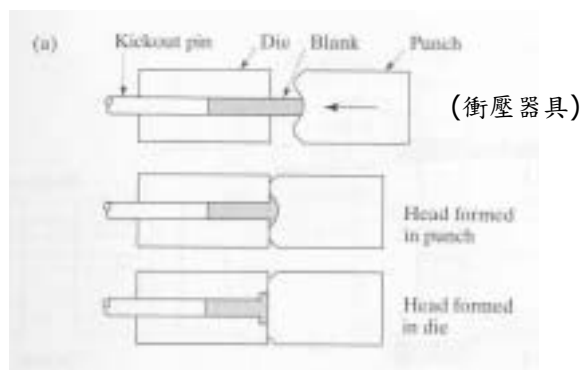
鈑金成型 (Sheet Metal Forming)

- 利用金屬的可塑性，將薄金屬板作各種彎折、衝剪的加工稱為鈑金成型 Sheet-metal (薄板) forming
 - Such as punching (衝壓), stamping (壓印), deep drawing (抽拉), etc.
 - Examples: car bodies, file cabinets, beverage cans, etc.



Forging (鍛造)

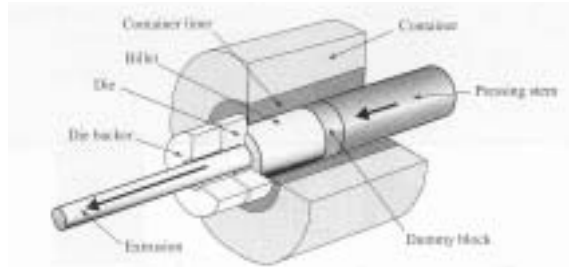
- A process in which the workpiece is shaped by compressive (有壓縮力的) forces applied through various dies (模) and tools.
 - Examples: bolts (門等的插銷) and rivets (鉚釘).



Extrusion (擠壓)

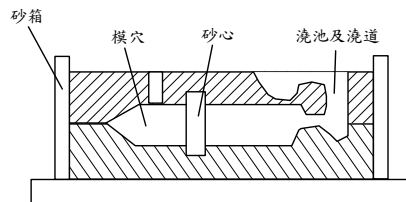
■ Extrusion (擠壓)

- A billet (generally round) is forced through through a die, in a way similar to squeezing toothpaste (擠牙膏) from a tube.
- Examples: railings (軌道) for sliding doors, door and window frames (邊框;窗框), etc.



鑄造 (Casting)

■ 砂模鑄造 Sand casting



■ 永久模鑄造 Permanent mold casting

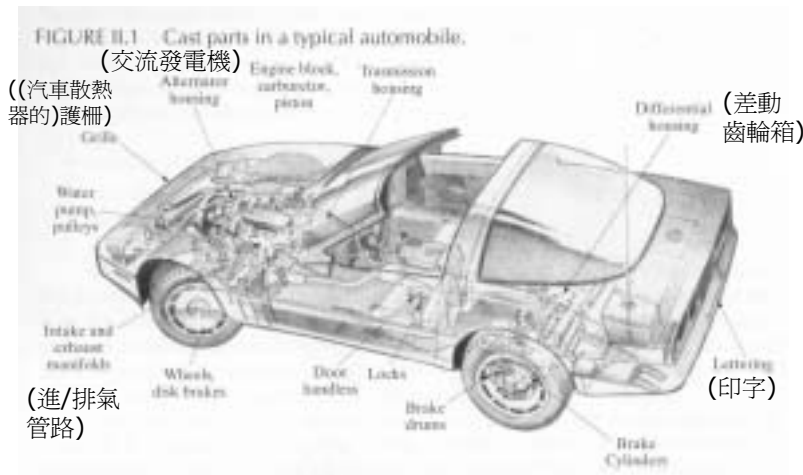
- 金屬模具，可重複使用，但僅限於鑄造低熔點金屬

■ 壓鑄 Die casting

- 加以壓力強制將金屬液射入金屬壓鑄模內

■ 精密（脫臘）鑄造 Investment casting

鑄造件應用例



射出成型 (Injection Molding)

- 塑膠的射出成型過程可分為三個階段：
 - 加熱至融化狀態
 - 加壓流動、充填模穴
 - 在模穴凝固後取出

