

發明專利說明書 200404638

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號： 92122045

※ 申請日期： 9218/2 ※IPC 分類： B23P 25/00

壹、發明名稱：(中文/英文)

使用多重能源之用於減輕應力的方法及設備

METHODS AND APPARATUS FOR STRESS RELIEF USING MULTIPLE ENERGY SOURCES

貳、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

多娜 M·沃克爾/Walker, Donna M.

代表人：(中文/英文)

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國密西根州 48375 諾威市雷德尼路 40388 號

40388 Ladene Lane, Novi, Michigan 48375, U. S. A.

國 籍：(中文/英文)

美國/U. S. A.

參、發明人：(共 1 人)

姓 名：(中文/英文)

多娜 M·沃克爾/Walker, Donna M.

住居所地址：(中文/英文)

美國密西根州 48375 諾威市雷德尼路 40388 號

40388 Ladene Lane, Novi, Michigan 48375, U. S. A.

國 籍：(中文/英文)

美國/U. S. A.

肆、聲明事項：

本案係符合專利法第二十條第一項 第一款但書或 第二款但書規定之期間，其日期為： 年 月 日。

◎本案申請前已向下列國家（地區）申請專利 主張國際優先權：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 美國；2002.08.16；60/404,020

2.

3.

4.

5.

主張國內優先權（專利法第二十五條之一）：

【格式請依：申請日；申請案號數 順序註記】

1.

2.

主張專利法第二十六條微生物：

國內微生物 【格式請依：寄存機構；日期；號碼 順序註記】

國外微生物 【格式請依：寄存國名；機構；日期；號碼 順序註記】

熟習該項技術者易於獲得，不須寄存。

玖、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本申請案主張 2002 年 8 月 16 日提出申請之美國臨時申請案第 60/404,020 號、且名稱為“A PROCESS AND DEVICE FOR METAL OR METAL ALLOY STRESS RELIEF”的優先權以及利益。美國臨時申請案第 60/402,327 號係加入本文以作為參考。

本發明大體上係相關於改變結構之物理性質的領域，且更具體地是相關於用於使用二種或是更多種能量來改變結構之物理性質方法以及製程。

【先前技術】

加工製造的部件通常是使用各種像是熱處理、焊接、以及其他機械以及熱處理製程步驟來製造的，該等機械及熱處理製程步驟會在材料之內造成機械應力。殘留在加工製造部件中的殘留應力已經被發現會不利地影響疲勞壽命、腐蝕敏感性、以及強度，其中，靠近焊接接合部的區域已經被發現是特別容易受到應力問題的影響。在許多機器及結構之中，至少部份是由於在加工製造或是焊接之後殘留的內部應力，構成部件在負載承受能力、抗蝕性、以及／或激變破壞方面可能會受到提早的退化。此外，修理以及／或更換構件在許多情況中是很昂貴的。

由於應力侵蝕、疲勞、以及過早的超載破壞，局部化的內部應力可能會導致破壞加速。這些破壞可能會發生於橋樑、飛行器結構、船艦殼體、導管、液體儲存槽、軌道

與反應器容器中、以及在許多其他的結構之中。緩和或是減少在大型結構中的內部應力有時候會很困難，尤其是當該結構位於遠處的位置中時。舉例來說，應力可能是因為在遠處的區域中將導管接在一起來製造出油料輸送管、或是從焊接、塑造成型、以及／或在橋樑、船隻、或是飛機中組合結構性構件而產生的。對於大型及小型的結構來說，結構的過早退化或是破壞可能是起因於殘留的內部應力。被焊接之部件的耐用性以及性能會受到可能會降低疲勞壽命以及抗腐蝕性之內部應力的影響。焊接係牽涉到提供高溫來熔化一個焊接桿件或是其他被用來結合二個區段之板件的填料金屬。在焊接製程期間，這些基部金屬的接合表面也會被加熱到熔點溫度。在鄰接焊接線處存在熱梯度會影響板件的微細結構。熱梯度為沿著焊接線之殘留應力的主要原因，並且與基底材料相比較，熱梯度會促成在受熱影響區域中之機械性質的削弱以及降低抗腐蝕力。除此之外，尤其是當以不同厚度來接合時，由於材料會試圖著調整到不同的熱梯度，焊接會留下顯著的內部應力。

據此，習知技術已經被發展來在可能會在製造操作或是焊接操作期間或之後被使用之加工製造的部件中減輕內部應力。然而，傳統的應力消除製程通常非常需要時間，需要將能量應用到被施加應力的部件一段非常長的時間。在一個製造裝置之中，冗長的應力消除製程在全部製造時間、生產率、以及能量方面是非常耗費成本的。在相關領域的應力消除結構中，時間與能量也是很重要的考量。舉

例來說，於一個商用飛機的機群中，在一個飛行器上進行應力消除的操作必須要使得該飛行器在應力消除的操作期間降落。對於大型的結構（像是在一個遠處輸油管、船隻、或是飛機殼體等等中的焊接管件）來說，用於應力消除操作的能量通常必須被帶到工作場所，其中，非常需要時間的傳統式應力消除技術係特別地昂貴。據此，係存在著一種對於應力消除技術以及系統的需求，以用於減輕在加工製造之部件以及／或焊接結構中的應力。

【發明內容】

為了要提供對於本發明某些概念之基本了解，下文係呈現出本發明的簡化性概要。此概要並不是本發明的廣泛性概述。本概述並不是要認定本發明的認定本發明的關鍵或是重要元件，也不是要描述本發明的範疇。反而是，本概要的主要目的是用來當作將在下文中呈現之更詳細描述的序文而以簡單的形式來呈現出本發明的某些觀念。本發明係相關於用於同時地將多種類型的能量應用到一個結構來改變該結構之物理性質的技術、以及用於決定同時地將多個能量應用到一個結構之操作設定的方法論。

與先前的技術相較，根據本發明同時提供多種類型的能量可以有利地被利用來顯著地減少改變所關心結構之一個物理性質所需要的時間以及／或能量（像是減輕在加工製造部件中或是其他結構中殘留的內部應力）。本發明可以被利用在固體擴散的領域之中，包括、但不侷限於熱處理與熟化、用於金屬的表面擴散處理（例如氮氧化、氮化

、滲碳等等)、金屬的區域精鍊、電池的製造、摻雜半導體(例如,在半導體的製造中加速處理或是降低溫度)、或是其他其中在原子經由一種材料而擴散的同時耗盡時間的技術。本發明亦可以被利用在液體擴散的領域之中,包括、但不侷限於滲透性薄膜(例如,水的純淨化、化學物質的分離等等)、液體色層分析(例如,化學物質的分離等)以及化學物質的混合。

根據本發明的一個概念,一種方法係用於改變一種結構的物理性質,其中,該物理性質可以是潛變率、潛變、應力、殘餘應力、內部應力、熟化、經由薄膜的運動、或是任何像是那些可以根據亞何尼斯型(Arrhenius-type)的一階反應速率方程式而被控制的性質。該方法包含有:藉著根據一個操作設定進行一個第一類型的能量提供到一個結構。該操作設定以及/或一個時間值是根據用於該第一能量製程之一階反應速率關係、用於一個第二能量製程之一階反應速率關係、以及根據一個用於該結構之所需的物理性質數值而被選擇的。在一個例子之中,該物理性質可以是內部應力,其中所需要的物理性質是一個殘留應力數值及一個內部應力降低數值中的其中之一。用於該第一能量製程的關係是相關於第一類型的能量對於該結構的應用以及該結構的一個物理性質、並且用於該第二能量製程的關係是相關於第二類型的能量對於該結構的應用以及該物理性質。該方法更包含有:在一個大於用於該結構之活化能量的能量標準處將一個第二類型的能量提供到該結構

，其中，該第一與第二類型的能量係同時地被提供達到至少該時間數值。

該第一與第二類型的能量可以個別地是被應用到一個結構之任何形式的能量。在一個例子之中，該第一類型的能量係為熱量並且該第二類型的能量可以隨著時間變化，像是振盪的機械震動。

該一階反應速率關係可以是拉森-米勒 (L-M) 的關係曲線，其係相關於對於該結構之熱量與振盪能量的應用以及感到興趣的物理性質。一個第一 L-M 參數係根據第一 L-M 關係 (對應於所需要的物理性質數值) 而決定的，並且一個第二 L-M 參數係根據第二 L-M 關係 (亦對應於所需要的物理性質數值) 而決定的。舉例來說，該第一 L-M 參數可以是根據一個第一 L-M 關係 (例如，L-M 曲線等等) 而被決定，其中，一個所需要之殘留內部應力的數值係沿著該第一 L-M 曲線的 Y 軸來選擇，並且對應的參數 (“P”) 數值係沿著 X 軸 (P_1) 來確定。一個第二 L-M 參數的決定是根據用於一個第二 L-M 關係 (例如，一個第二 L-M 曲線等等) 之所需要的物理性質數值而藉著將所需要的內部應力數值設置在第二 L-M 曲線的 Y 軸上、以及將對應的第二參數數值 (例如，“ P_2 ”) 沿著 X 軸設置。一個第三 L-M 參數可以選擇性地根據第一及第二 L-M 參數 (P_1 及 P_2) 來決定，像是藉著扣除 (例如， $P_3 = P_1 - P_2$) 。

一個操作設定以及一個時間數值因此係藉著該第三參數 P_3 、使用用於將第一類型能量應用於該結構的一階關係

而被選擇。一個溫度設定以及一個時間數值的其中之一係為了將該第一類型的能量應用到該結構（例如，根據結構、設備、經濟、或是其他的考量）或是隨機地被選擇。另一個數值因此係根據該第三參數 P_3 （例如，基於 P_1 以及 P_2 ）、該第一 L-M 關係、以及根據先前所選擇的數值而被選擇或是決定。舉例來說，一個溫度數值可以基於熱量的加熱設備限制、結構的材料性質等等而被選擇，並且一個時間數值因此是藉著使用預定的溫度數值及該第三參數來解一個一階的速率方程式而被決定。在其他的實施方式中，該時間數值可以最先被選擇，並且該溫度設定接著根據該時間數值、第一與第二數值、以及該一階反應速率方程式來決定。

根據本發明的另一個概念，所提供的一種方法係用於決定用於將多種能量同時應用一個結構的操作設定。該方法包含有以下的步驟：根據用於該結構的一個所需要的物理性質以及根據一個用於一個第一能量製程的一階反應速率關係來決定一個第一參數，其中，該第一能量製程係相關於將一個第一類型的能量應用到該結構以及該物理性質。一個第二參數係根據該所需要的物理性質以及根據一個用於一個第二類型能量製程的一階反應速率關係來決定，其中，該第二能量製程係相關於將一個第二類型的能量應用到該結構以及該物理性質。一個時間數值或是一個用於該第一類型能量製程的操作設定係根據例如結構、設備、經濟考量等等而被選擇。其餘的時間數值或是操作設定係

根據第一及第二參數（例如，或是一個相關於該第一與第二參數的第三參數）、根據用於該第一能量製程的一階反應速率關係、以及根據先前所選擇之時間數值及操作設定的其中之一來決定。該方法更可以包含有決定用於第一及第二能量製程的一階反應速率關係。

本發明的其他概念係提供用於藉著同時地應用二種或更多種類型的能量來改變一個結構之物理性質的方法、用於決定同時將多種類型的能量應用到一個結構之操作設定的方法（其係利用一個用於多種類型能量之組合的一階反應速率關係）、以及用於同時地應用多種類型能量來改變一個結構之性質的系統。在這些方法之中，該一階反應速率關係的特徵係在於一個將第一及第二類型能量同時應用到該結構與該結構之一個物理性質之間的關係。操作的設定是藉著決定一個對應一個所需要之物理性質數值的參數並且從 L-M 參數推導出一個或是多個設定來決定的。

為了要完成前述以及相關的目標，以下所提出的詳細描述以及隨附的附圖係確定了本發明的示範性概念以及實施方式。這些概念及實施方式僅是各種方式中的其中一些象徵，其中可以使用本發明的原理。當與該等圖式一起考慮時，本發明其他的目標、優點以及新穎特徵從以下本發明的詳細描述將會變得更加清楚。

【實施方式】

現在將參照圖式描述本發明的一個或是多個實施方式，其中，在全文中相同的元件參考符號係被用來表示相同

的元件。本發明係相關於用於同時將多種類型的能量應用到一個結構來減輕該結構之應力或是改變該結構之其他物理性質的方法、以及相關於決定用於同時地將多重能源應用到一個結構之操作設定的方法。本發明尤其可以與像是製造部件、多個部件的組件、焊接、或是其他結構的應力消除結構一起被使用，其中，同時應用一種類型的熱源以及一種或是多種類型之時間改變的能量可以被用來暫時加速在從前使用傳統應力消除技術所無法獲致之應力消除操作。然而，本發明也可以與像是那些可以根據一階反應速率方程式被模製之任何的性質改變製程一起使用，其中，複數種類型的能源係被用來加速一種或多種物理性質（像是剩餘的內部應力或是殘留應力）的改變。在這個方面，本發明並不侷限於在本文中所提出的特殊例子。

首先參照圖 1、圖 2A 及圖 2B，一個示範性的方法 2 係被顯示於圖 1 之中，用於使用根據本發明同時地應用多種類型的能量來修改或是改變一個結構的物理性質。雖然該示範性製程或是方法 2 以及本發明的其他方法係以一系列的行動或是事件顯示且描述於下文之中，將可以了解的是，本發明並不侷限於所顯示之此等行動或是事件的順序。舉例來說，除了本文所顯示以及／或描述的之外，根據本發明，某些行為可以再不同的順序之中發生以及／或同時地與其他行動或是事件一起發生。除此之外，不是所有所顯示的步驟對於實施根據本發明的方法論來說都為必要者。

該方法 2 係顯示了在步驟 6 及步驟 8 處之二個能量應用的特徵、在步驟 10 到步驟 14 處之用於不同類型能量之一階反應速率關係及一階反應速率參數（“P”）的交互關係、在步驟 16 到步驟 18 處之操作以及時間數值或是設定的選擇、以及在步驟 22 處之多種類型能量的應用。可以注意到的是，本發明之某些方面的開始係提供了包括有描述於本文中之特徵、交互關係、設定選擇、以及能量應用特徵的方法，同時，本發明的其他方法並不需要所有的這些行動。如同一個例子，本發明提供了用於改變結構之物理性質的方法，該方法可能只會需要所示之示範性方法 2 的某些行動。本發明亦提供了用於決定同時應用多種類型能量之操作設定的方法，該方法可能不會會需要所示之示範性方法 2 的所有行動。

從步驟 4 開始，一個一階反應速率關係是在用於一個第一能量製程之步驟 6 處被決定的，並且另外一個一階反應速率關係是在一個用於一個第二能量製程的步驟 8 處被決定的。在步驟 6 及步驟 8 處決定的一階反應速率關係可以是曲線、由一系列數據點的曲線擬合（curve-fitting）所產生的數學式、或是任何將對應類型的能量應用到該結構與感到興趣之物理性質之間之一個關係的特徵或是數學式，例如，包括但不侷限於拉森-米勒關係以及／或是其相等物。因此，在步驟 6 處所決定的一階反應速率關係會與將第一種類型能量應用到該結構以及該結構的物理性質有關，並且在步驟 8 處決定的一階反應速率關係之特徵係

在於介於將第二種類型能量應用到該結構與該物理性質之間的關係。圖 2A 提供了一個繪圖 31，其係說明了用於一個根據本發明之第二種類型能量的示範性一階反應速率關係曲線。

一個一階反應速率關係可以被表示成一個用於模擬或是代表一個仰賴隨著時間之擴散或是差排之製程的方程式。舉例來說，應力的減輕可以是被表示成一個代表通過一個材料之差排通路的一階反應速率方程式。在本發明的一個實施方式之中，L-M 方程式可以藉著取亞何尼斯方程式的對數推演而得，並且可以被標繪成一個物理性質的曲線，像是殘留的內部應力或是殘餘應力在一個 Y 軸上對上一個一階反應速率參數（例如，一個拉森-米勒參數）“P”在 X 軸上。在經由應用熱能來減輕應力的例子之中，一個一階反應速率關係可以被繪製成殘留的內部應力相對於一個熱的一階反應速率參數 P_t ，該參數係結合了時間與溫度二者。替代地，實際的結構可以在各種時間以及溫度使用熱的應力消除操作被張緊以及處理，以便於產生一個數個殘留的內部應力相對於一階反應速率數值的製圖。

可以注意到的是，所感到興趣的物理性質或是特性可以在沿著此種關係曲線的 Y 軸上被繪製在相反的刻度上、或是被繪製在本發明的範疇之內。這些以及任何其他的技術可以被使用在步驟 6 及 8 處，用以決定用於根據本發明之第一與第二能源製程的一階反應速率關係。可以注意到的是，多於二種類型的能源可以被提供於根據本發明以及

隨附之申請專利範圍的結構，其中，對應的一階反應速率關係係被用來決定一個或是多個操作設定以及／或時間數值，該時間數值係用於加速在該結構之物理性質中的變化。更可以注意到的是，該一階反應速率關係可以使用任何以相同或相似於要被處理之結構的材料所製成的樣本來決定，其中，該樣本的尺寸、形狀等等可以是（但並不限定於）與有興趣的結構相同。在這個方面，該一階反應速率關係以及一階反應速率參數可以被應用到任何以有興趣的材料所製成的結構，藉以，從其中推導出的一階反應速率關係以及一階反應速率參數可以普遍地被應用到以該材料製成的結構。

在步驟 10 到步驟 14 處，一階反應速率關係以及一階反應速率參數對於不同類型的能源是互相關聯的。替代地，如將於下文中參照圖 5 所討論的，一個複合的或是組合的一階反應速率關係可以為了多種能源而被決定，其中，同時將多種類型的能源應用到一個結構之互相關聯的效果可以被埋置或是體現於該組合的一階反應速率關係以及其特定的一階反應速率參數。在方法 2 之中，一個一階反應速率參數 P_t 係在步驟 10 處根據用於第一能源製程的一階反應速率關係而被決定，其中，該第一參數 P_1 係對應用於該結構之所需要的物理性質數值。

在圖 2A 之中，所需要的物理性質數值係沿著標繪圖 31 的 Y 軸 31y 而被座落，並且在該一階反應速率曲線上之對應的點係沿著 X 軸 31x 被確認為 P_1 。在方法 2 之中，同

樣需要的物理性質係在步驟 12 處被使用，用以根據用於第二能源製程的一階反應速率關係來決定一個第二參數 P_2 。舉例來說，在圖 2B 之中，所需要的物理性質數值係沿著標繪圖 32 的 Y 軸 32y 而被座落，並且在該一階反應速率曲線上之對應的點係沿著 X 軸 32x 被確認為 P_2 。

用於同時將二種或更多種類型的能源提供到該結構的操作設定係在步驟 16 及 18 處根據該一階反應速率參數而被選擇。用於第一類型能源之一個時間數值與一個操作設定的其中之一係根據一個或多個選擇準則而被選擇，該等選擇準則包括、但不限定於結構、設備、或是經濟考量，或者也可以任意地選擇。另外的變數接著係根據第一及第二參數 P_1 及 P_2 、使用與該第一能量製程相關的一階反應速率關係而被選擇或是決定。

為此目的，一個第三參數 P_3 係在步驟 14 處根據第一及第二參數 P_1 及 P_2 （像是藉由將 P_2 從 P_1 減去）而選擇性地被決定，其中，該時間數值以及／或操作設定可以因而根據第三參數 P_3 而在步驟 18 處被選擇或是決定。在決定用於應用第一類型能量的操作及時間參數時，一階反應速率參數 P_1 及 P_2 會產生第三參數 P_3 ，該第三參數 P_3 係反射出可以在本發明範疇中達成的一個暫時性的加速。這個加速係依次地促進其他多重類型能量製程的應力消除或是執行，用以與使用先前的方法相較，可以使用較少的時間並且使用較少的能量來改變一個結構的一個物理性質。發明人已經察知到的是，在一個結構之內之差排運動（例如，

像是在應力消除的期間)是藉由一個擴散過程而發生，並且可以藉著一個一階反應速率方程式來描述：

$$(1) \quad D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}},$$

其中， D =在某個時間 t 的擴散率

D_0 =剛開始的擴散速率

Q =反應開始的致動能量

R =通用氣體常數

T =K 氏 (Kelvin) 溫度

一般來說，使用熱的方法所獲得的應力消除速率係被擴散所驅動並且可以使用以化學家 Svante Arrhenius 來命名的亞何尼斯一階反應速率方程式 (2) 來描述：

$$(2) \quad r(T) = A e^{-\frac{\Delta H}{RT}},$$

其中， D =在某個時間 t 的應力消除速率

A =常數

H =反應的自由能量

R =通用氣體常數

T =K 氏 (Kelvin) 溫度

應力消除的程度可能會與一個一階反應速率關係或是方程式有關。在一個例子之中，一個拉森-米勒 (L-M) 方程式係藉著取亞何尼斯方程式 (2) 的對數而獲得。

假設 $r \propto \frac{1}{t}$ 並且重新整理，用於熱應力消除的 L-M 方程式可以被表示成：

$$(3) \quad P = \frac{\Delta H}{R} = T(C + \log t),$$

其中，P 為 L-M 一階反應速率參數。可以使用其他具體形式的一階反應速率數學式，該等數學式係為一個亞何尼斯方程式的對數數學式，其中，在此處所使用的拉森-米勒或是“L-M”是要用來包括所有的此種一階反應速率關係以及特性為亞何尼斯方程式之對數數學式的相關參數。該一階反應速率方程式 (3) 可以如圖 2A 所示地被繪製成以一階反應速率參數 P 在 X 軸上，且所感到興趣的物理性質（例如，應力消除或是殘留的內部應力或是內部應力）係在 Y 軸上。舉例來說，雖然在本發明的範疇之內，其他的技術可以在上文的步驟 6 及 8 處使用，以用於決定該一階反應速率關係，此等一階反應速率曲線可以針對一個使用三個或是更多個數據點的熱能量製程而獲致，其中，該等數據點係藉著實驗程序在不同的時間及溫度而被決定。該熱的一階反應速率曲線（例如，在圖 2A 之中的繪圖 31）能夠被用來預測可以被用來達成任何所需物理性質數值（例如，應力消除的程度）的時間／溫度組合。

發明人已經察知到的是，內部或是殘留應力的消除可以主要藉由移動差排及減少全部的差排密度、以及／或其他晶格瑕疵（像是疊層缺陷）的密度而被達成。全部應力狀態的一個分量可能是由於局部的晶格應變，但是該分量可以被預期的是絕對的數值。這個分量為單純的彈性應變並且為在晶格之內的局部區域。當該應變達到等於該致動能量的某一個數值時，將會產生一個差排的形成。將不會

發生差排的互相影響，除非差排是積極地適合互相影響。當能量（不管是熱的形式或是任何隨時間改變（例如，震盪的、週期性的、脈衝的）之可能會造成一個壓力波產生的應用能量）被應用到一個結晶固體時，能量會被運用到該等差排而引起它們的運動。由於任何的系統將會移動到較低的能量狀態，差排將會嘗試藉著結合或是毀滅來獲致一個較低的能量結構，因此降低在該材料中的內部應用。

除此之外，發明人已經察知到的是，相似的數學關係適用於任何的應力消除或是其他使用擴散過程致使差排運動之改變性質的方法，並且因此可以藉著上述之亞何尼斯一階反應速率方程式（2）來描述。根據本發明，加速會經由同時應用多重類型的能量於一個結構來改變一個物理性質（例如，應力消除）而產生擴散過程，其中，時間以及操作設定係如同本文所描述地被決定。為了要更進一步地顯示加速的結果，以下的推導係被提供以做為一個例子，其中，熱量以及振動能量係同時地被應用，用以消除一個結構的應力。

假設，材料或是討論中之部分的矩陣可以被劃分成應變及非應變的部位，每個部位係帶有一個集中度 C ，總集中度可以被表示成：

$$(4) \quad C_{(total)} = C_{s(stained)} + C_{n(non-stained)}$$

在應變消除的情況中，適用以下的關係：

$$(5) \quad C_s \rightarrow C_n$$

在應力消除期間，應變部位之集中度的改變率可以被表示為：

$$(6) \quad \frac{dC_s}{dt} = -k \cdot C_s$$

對於反應的改變率，其中， $k = A e^{\frac{\Delta H}{RT}}$ 。

因此

$$(7) \quad \frac{dC_{sv}}{dt} = -k_v \cdot C_{sv}$$

其中， k_v 為對於一個震盪（振動）之第二類型能量的亞何尼斯方程式，並且：

$$(8) \quad \frac{dC_{sT}}{dt} = -k_T \cdot C_{sT}$$

其中， k_T 為對於一個熱類型能量的亞何尼斯方程式。

總體的結合方法為：

$$(9) \quad \frac{dC_s}{dt} = \frac{dC_{sv}}{dt} + \frac{dC_{sT}}{dt} = -(k_v + k_T) \cdot C_s$$

解出 $C_s(t)$ ：

$$(10) \quad C_s(t) = A e^{-(k_T + k_v)t} + B$$

應用邊界條件 $t=0$ 以及 $t=\infty$ ：

$$(11) \quad C_s(0) = A e^{-(k_T + k_v) \cdot 0} + B, \text{ 並且}$$

$$(12) \quad C_s(t) = A \cdot 0 + B = B$$

結合方程式 (11) 及 (12)：

$$(13) \quad A = C_s(0) - C_s(\infty)$$

代入 (10) :

$$(14) \quad C_s(t) = [C_s(0) - C_s(\infty)] e^{-(k_T + k_v)t} + C_s(\infty)$$

$$(15) \quad C_s(t) = C_s(0) e^{-(k_T + k_v)t} + C_s(\infty)[1 - e^{-(k_T + k_v)t}]$$

從邊界條件 $C_s(0)=1$ 以及 $C_s(\infty)=0$ 。因此：

$$(16) \quad C_s(t) = e^{-(k_T + k_v)t}$$

應用 L'Hopital's 規則並且在完成時取代 t ：

$$(17) \quad C_s(t) = e^{-(k_T + k_v)t}$$

對於同時發生之二個擴散控制過程的況中，其中， k =亞何尼斯方程式：

$$(18) \quad \frac{1}{t} = A e^{-\left(\frac{\Delta H_T + \Delta H_v}{RT}\right)}$$

取自然對數：

$$(19) \quad -\ln t = \ln A - \left(\frac{\Delta H_T + \Delta H_v}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right)$$

重新排列並且轉換成對數：

$$(20) \quad \left(\frac{\Delta H_T + \Delta H_v}{R}\right) = T(C + \log t)$$

因此，對於任何同時應用應力消除過程的組合來說，應力消除速率的總和可能會與一階反映速率參數 P 有關。振動過程（無論是使用聲音、機械振動、雷射脈衝波、或是某

些其他振動或是隨時間改變之應用能量過程)通常是在一個固定的溫度點進行，其中，時間、頻率、以及振幅係為變數。振動的頻率以及振幅設定可以根據任何適當的技術而被決定，以便於在本發明的範疇之內提供等於或是大於所感到有興趣材料之啟動能量的能量；舉例來說，藉著確認一個對於該結構及該系統的共振頻率、且其中該構是要在處理期間被安裝者，以及選擇一個等於或接近該共振頻率的頻率。在這個方面，頻率可以當共振點改變時在處理期間被調整，其中，本發明並不會限定於固定頻率或是固定振幅的實施方式，用於提供隨時間改變的能量到該結構。本案發明人也已經察知到，頻率可能會與溫度有一種微弱的關係，其可以被計算如下：

$$(21) \quad c = \lambda f,$$

其中， c = 聲音在一種材料之中的速度

$$\lambda = \lambda f \text{ (樣品的尺寸)}$$

$$f = \text{諧波的頻率}$$

而且：

$$(22) \quad c = \left[\frac{Y}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}},$$

其中， Y = 楊氏模數

$$\rho = \text{材料的密度}$$

密度與溫度之間的關係係表示成：

$$(23) \quad \rho = \rho_0 (1 + \beta T)$$

其中， $\beta = 3C_{te}$ ，並且 C_{te} 為熱膨脹係數。解出頻率：

$$(24) \quad \lambda f = \left[\frac{Y}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad \text{以及}$$

$$(25) \quad f = \left[\frac{Y}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{\lambda} \right).$$

算入溫度的變化，頻率係被表示為：

$$(26) \quad f = \left[\frac{Y}{\rho_0 (1 + \beta T)} \right]^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{\lambda} \right)$$

因此，有效的頻率 f 係為 $\frac{1}{T}$ 的一個函數。

結果，當溫度 T 改變時，有效的頻率也將會變動。因此，對於應力消除的最大效率，一旦達到了處理的溫度，頻率可以被調整到一個最終的數值。對於某些震動技術來說，其充其量係被相信為一個非常弱的關係，並且因此在震動操作頻率設定中的調整可以（但不必須）是根據本發明來進行的。因為在一個單獨的方法之內，藉著波動能量之循環的晶格位移係與楊氏模數 E 與 Poisson 比率成正比，該頻率／模數關係對於一種合金及產品形式來說是獨特的，並且因此可以有利地藉著在有興趣之具體部份上的實驗程序而被決定。

此外，共振的頻率可以在一個結構被進行應力消除時改變，其中，可以據此對於一個時間改變類型之能量的頻率進行調整。除此之外，頻率也可能是高度地取決於部件的尺寸大小。雖然，一般來說，用於合金的特定頻率範圍可以針對一個特定的頻率產生（不管是音速的、雷射的、用電的、磁性的、機械的、以及微波的、或是某些其他類

型)方法來決定,其中,根據特定結構以及安裝系統的調整可以在落入本發明之範疇中的情況下被構想出來。

回到圖 1,一旦一階反應速率參數 $P_1 - P_3$ 已經在步驟 10 到步驟 14 處被決定了之後,操作設定以及時間數值係根據步驟 16 到步驟 18 被選擇。一個用於第一能量過程的操作設定或是一個用於同時處理的時間數值係在步驟 16 處被選擇,像是其中第一類型能量為熱能的一個溫度設定或是一個同時處理的時間設定。所選擇的第一變數(例如,獨立的變數)可以根據結構、設備、經濟或是其他考量、或是隨機地在步驟 16 處被選擇。在一個例子之中,像是熱源的處理設備可以具有在溫度方面上的上限,以及/或可能會希望將該結構保持在一個安全溫度處或是該安全溫度之上,用以避免該結構的韌度或是該結構的熔化;然而,一個最小的溫度數值對於該材料來說可能會是用以為此超過啟動能量的一個關鍵性溫度。在另外一個例子之中,由於周圍環境的狀況以及/或來自於接附結構的熱度低降,將船隻殼體、飛行器結構、或是橋樑的一個區段帶到一個非常高的溫度可能會很困難,其中,此等考慮可以在步驟 16 處選擇一個溫度設定時被列入考慮。

在步驟 18 處,操作設定以及時間數值之中的另外一個係根據一階反應速率參數 P_3 (例如,或是直接根據 P_1 以及 P_2)、而且根據先前所選擇(例如,獨立地)的變數而被選擇或是決定。對於上述於其中溫度設定是在步驟 16 處被選擇的例子之中,時間數值是在步驟 18 處根據用於使用對

於熱量製程之一階反應速率關係將第一種類型的能量應用到該結構之溫度設定以及參數而被決定的。舉例來說，該一階反應速率關係的使用是藉著求出一個用於該第一類型能量製程的對應一階反應速率方程式（例如，上文所述的方程式（3））、使用當作獨立變數的參數 P_3 以及溫度設定、以及解出相關的變數（在這個例子之中是時間數值）。

用於第二種能量製程的操作設定可以根據其他用於與第一能量製程一起而同時應用能量的準則而被選擇。舉例來說，頻率以及／或振幅設定可以為了一種振動第二能量製程而被選擇，其中，該結構（與其中其係被裝設以用於處理的系統一起）係被掃描，用以決定一個共振的頻率。該處理頻率因而可以被選擇為處於或是接近該共振的頻率，其中，該頻率可以在處理期間被調整。此種振動之第二能量製程的頻率以及振幅也可以被調整為使得藉此被提供的能量係大於一個用於該結構之材料的啟動能量。

在這個方面所注意的是，鑑於在上文中之步驟 6 到步驟 14 處所決定之一階反應速率關係以及一階反應速率參數通常與材料特性及結構無關，而用於將能量類型應用到該結構之其中一種或多種的操作設定可以根據材料特性的考量（例如，啟動能量等等）來選擇、以及根據一種特殊結構的特性以及／或一種該結構係在其中被處理的系統來選擇，像是質量、尺寸大小、形狀、或是其他系統或結構的特徵。一旦操作及時間的設定或數值已經在步驟 16 及步驟

18 處被選好，方法 2 係會繼續下去到步驟 22，第一及第二能量製程係在該處被履行，用以同時地將第一類型及第二類型的能量應用到該結構至少達所選擇的時間數值，用以在方法 2 於步驟 24 處結束之前達成該結構之物理性質的加速改變。在某些同時應用能量（其中，其中一種類型的能量是熱）的實施之中，熱較佳地是可以先被關掉，留下振動的能量繼續運轉，直到正在處理（例如，應力消除）的部件達到一個用於差排移動性的最小溫度。

如同在圖 1、圖 2A 及圖 2B 所示的示例之中，本發明提供了用於決定操作設定及時間數值的方法，該等操作數定及時間數值係用於同時地將多種類型的能量應用到一個結構，用以改變該結構的一個物理性質，該方法可以單獨地使用或是與該結構的實際處理一起使用，用以改變一種所感到興趣的物理性質。一階反應速率關係（例如，在上文中的步驟 6 及步驟 8）的決定可以在一個實驗設備中使用一種要被決定之定類型材料的樣品試片來完成、或是可以使用適當之預先存在的一階反應速率關係。用這些方式，該等一階反應速率參數可以為了一個所需要的物理性質數值而被決定（例如，在步驟 10 到步驟 14 處），並且操作設定及時間數值可以被選擇出來（例如，在上文中的步驟 6 及步驟 8 處）。之後，第一及第二能量製程可以被應用到任何對於一階反應速率關係及參數已經被決定之材料的結構，其中，一個或是多個操作設定（例如，像是振動頻率）可以根據處理系統的詳細情況（例如，系統的共振

頻率) 而被選擇。

更可以注意到的是，本發明的各種概念可以被使用在同時使用多於二種類型能量的應用之中。因此，本發明係構想出同時應用任何不同整數 N 之類型的能量，而 N 是一個大於 1 的正整數，其中，一階反應速率關係（例如，被推導出的或是已經存在的）可以被使用於決定 N 個對應一個所需要之物理性質數值的一階反應速率參數（例如， $P_1 \dots P_N$ ）。一個或多個操作設定以及 / 或時間數值因此可以根據這些參數而被決定，或是該等參數可以使用另外的參數（例如， $P_{N+1} = P_1 - (P_2 + P_3 + \dots + P_N)$ ）而被互相關聯。除此之外，如於下文中相關於圖 5 所描述以及所繪示出的，一個單獨的一階反應速率關係可以為了同時應用多於一種類型的能量而被推導出或是獲致，其中，在選擇用於應用 N 種類型能量的操作設定以及時間參數時可能會需要少於 N 個的參數。在一個例子之中，可以使用一個使 N 種類型能量的應用與一種結構及該結構的物理性質相關聯之單獨的一階反應速率關係，其中，在選擇操作與時間的設定以及數值時可以使用一個單獨的參數。在這個方面，所有的此等替代性實施方式可以被構想出來而落入本發明及隨附之申請專利範圍的範疇之中，其中，被顯示出來的實施方式僅是範例而已。

現在參照圖 3A、圖 3B、及圖 4A 到圖 4D，本發明已經被成功地實施於鋁結構中消除剩下的內部（例如，殘留）應力，其係同時應用熱及振動能量（例如，機械振動）來

達成用於獲致一個所需要殘餘內部應力數值（例如，所需要之內部應力的減少量）之時間的顯著減少。圖 3A 及圖 3B 顯示了一個根據本發明使用二種能量製程（例如，熱及機械振動）之應力消除的示範性方法 102。圖 4A 及圖 4B 分別說明了用於熱及振動能量之示範性拉森-米勒一階反應關係的曲線。如同本文所使用之拉森-米勒一階反應關係或是關係曲線係包括有亞何尼斯方程式的一階反應速率方程式或是對數數學式。圖 4C 顯示了一個其中可以實施本發明之應力消除技術的示範性例子，並且圖 4D 顯示了一個根據本發明處理之鋁結構與使用傳統式應力消除技術處理之結構的應力消除比較結果之繪圖。

在圖 3A 之中，方法 102 係在步驟 104 處開始，其中，一個熱的拉森-米勒曲線（一階反應速率關係）係被決定，用於一個熱感應的應力消除製程，像是在圖 4A 之中的示範性繪圖 151。在這個例子之中，該繪圖 151 包括有一些對應 7055-T7 的鋁試片或是樣本之量測的數據點，該等試片或是樣本係承受到使用不同時間及溫度設定之熱量改變的應力消除。試驗的試片是從單獨的一塊樣品獲得的，以便於會具有同或接近相同之初始物理性質，並且該等樣本係被施加應力並且被分成二半。一個基線應力的量測係在其中一半的樣本上被取得，用以建立起一個以 kpsi（每平方英吋一千磅）為單位之殘留內部應力的基線數值。該等樣本係接著在不同的時間與溫度數值下使用熱量應用、使用熱感應設備來進行應力的消除。該殘留的內部應力接著

係對於應力消除的樣本被量測，其特徵係在於殘留應力的百分比。一個用於 7055-T7 鋁的拉森-米勒方程式係接著被用來計算一個用於每個倍應力消除之樣本的 L-M 一階反應速率參數數值 “Pt”。舉例來說，上文中的方程式 (3) 被用來計算用於每個樣本的 “Pt” (使用對應的時間 “t” 以及溫度 “T” (K 氏溫度))，其中，數值 10 係被用於對應這種合金的常數 “C”。可以察知的是，不同的 “C” 數值係被使用於不同的材料 (例如，對於鋼為 20，對於鈦為 10 到 15 等等)，其中，對於其他有興趣的材料可以獲致其他的數值。然而，對於一種給定的結構，相同的 C 數值係被用來獲得所有用於一個單一應力消除程序的操作數值 (並且在稍後計算對於此等數值的狀況)。繪圖 151 係接著藉著將一階反應速率參數 (例如，“Pt” 數值) 沿著 X 軸 151x 繪製並且對應的內部應力百分比數值係沿著 Y 軸 151y 繪製而被製作出來，如圖 4A 所示者。

以下的表一係顯示出被用來建構圖 4A 中之示範性 L-M 曲線的繪圖 151 的數據點。雖然繪圖 151 是以應力消除的百分比 (Y 軸) 來表示，相等的 L-M 曲線也可以用絕對的應力數值 (例如，以 kpsi 的單位) 來繪製。除此之外，X 軸的數值以及 / 或 Y 軸的數值可以替代地使用反向的刻度。

表一

溫度 (° F)	時間 (分鐘)	L-M 參數 P_t	應力消除 (%)
275	0	14.9	25
275	2.5	14.99	31
275	10	15.44	26
275	24	15.71	34
290	0	14.9	25
290	5	15.52	31
290	16	15.9	34
290	24	16.03	37
300	0	14.9	25
300	5	15.73	33
300	16	16.12	40
300	24	16.25	54
325	0	14.9	25
325	5	16.25	41
325	16	16.65	77
325	24	16.78	97

方法 102 係在步驟 108 處繼續，其中，一個振動的拉森-米勒曲線（例如，一階反應速率關係）係為了一個振動應力消除製程而被決定，像是圖 4B 所示的示範性繪圖 152。一個相似的技術可以被用來建立在繪圖 152 中的四個示範性數據點，其中，樣本係在一開始時被施以應力並且接著承受振動的能量，用以減少內部的應力，其中，該振動能量係等於或是大於在周圍環境之溫度（例如，在這個例子之中為 70 °F）下之 7055-T7 鋁的啟動能量。被消除應力的樣本階這被進行量測，用以決定殘留的內部應力。然後，圖 4B 的繪圖 152 係藉著將“ P_v ”數值沿著 X 軸 152x 繪製並且對應的內部應力數值係沿著 Y 軸 152y 繪製而被建構起來。

以下的表二係說明了被用來建構在圖 4B 中之示範性 L-M 曲線 152 的數據點。

表二

時間 (小時)	L-M 參數 P_t	應力消除 (%)
0	9	0
0.2	10.33	26.67
0.5	10.54	80
1.0	10.7	93.33

藉著分別在步驟 106 及 108 處決定之用於熱及振動製程的 L-M 關係曲線 151 及 152，一個第一熱 L-M 參數 P_t 係在步驟 110 處被決定，其係對應一個所需要之用於該結構的殘留內部應力數值。在所示的例子之中，3%的殘留內部應力係被選來（例如，97%的應力減少）當作所需要的物理性質數值。使用這個沿著圖 4A 中之 Y 軸 151y 的數值，可以從繪圖 151 沿著 X 軸 151x 確認出一個對應的熱 L-M 參數 P_t （具有 16,800 的數值）。在步驟 112 處，一個振動的 L-M 參數 P_v 係從圖 4B 中所示的振動 L-M 曲線 152 被決定，該參數亦對應所需要之殘留內部應力的數值。所需要之殘留應力的數值（例如，3%）係沿著圖 4B 中的 Y 軸 152y 座落，並且對應的振動 L-M 參數 P_v 係沿著 X 軸 152x 被辨認出而具有 10,800 的數值。

再次參照圖 4A 之中的熱 L-M 曲線繪圖 151，一個最後的 L-M 參數 P_f 係在步驟 114 處藉著將振動參數 P_v 從熱參數 P_t 扣掉（例如， $P_f = P_t - P_v = 16,800 - 10,800 = 6,000$ ）而被決定。使用這個 6,000 的 P_f 數值，一個溫度設定以及一個時間數值之中的其中之一係在步驟 16 處被選擇，以

用於熱感應製程，並且另外一個係在步驟 118 處藉著解出用於剩下之相關變數的 L-M 方程式而被選擇。舉例來說，一個溫度可以考慮到一個或多個限制而在步驟 116 處被選擇，該等限制包括、但不限定於設備的限制（例如，藉著可獲致之加熱設備的可能最大溫度）、材料的限制（例如，將結構的溫度保持在熔點或是其他用於結構材料的臨界溫度以下）、以及將該結構加熱到大於一個相關於該材料之啟動能量的溫度等等。在這個例子之中， 300°F 係被選來用於鋁結構的應力消除，而不會熔化或是改變材料的韌度。在其他的情況之中，處理的溫度可能會被其他的考量（像是一種其中該結構被施以熱處理的內建製程）所支配，並且溫度的量變曲線係為了加熱製程而被固定，在這種情況中，本發明可以被用來決定用於同時應用振動能量或是其他第二種類型能量的時間數值，同時該結構係處於一個被淬火的溫度（被冷卻）。

在步驟 120 處，關的變數係被選擇。在所顯示的例子之中，處理的時間 t 係根據在上文步驟 114 處決定之最後的拉森-米勒參數 Pt （例如，6,000）而被決定。在這個例子之中，該 L-M 方程式（3）係使用在步驟 116 處所選擇的溫度 T （例如， 300°F ）、常數（例如，對於鋁 $C=10$ ）以及參數 Pf （例如，6,000）而被解出時間數值，用以產生一個用於同時應用熱量及振動能量來達成所希望之 3% 殘留內部應力數值的處理時間 t = 大約 28.25 秒。可以選擇一種或多種振動設定（例如，頻率以及 / 或振幅），用以提供等

於或是大於鋁材料之啟動能量之振動的或是隨時間改變的能量。可以使用的一種技術係牽涉到決定一個用於該結構以及該結構將於其中被處理之系統的共振頻率、以及選擇一個等於或是接近（例如，稍微低於）該共振頻率的頻率，其中，該頻率在處理期間可以被調整。在這個例子之中，可以注意到的是，在這個溫度之下個別地應用熱量或是在這個時間單獨地應用振動將不會產生所需要之應力消除的目標。因此，本發明係有助於顯著地加速應力的消除，如更進一步地在下文中相關於圖 4D 所示者。在步驟 122 處，熱感應及振動製程係同時地被進行至少所選擇的時間數值並且係根據所選擇之用於該熱感應及振動製程的操作參數來進行，並且方法 102 係在步驟 124 處結束。

如更進一步地顯示於圖 3B 之中的，熱及振動製程不需要精確地對準時間，而是僅需要在步驟 122 處同時地被應用最小的時間數值，用以在本發明之範疇中達成所希望之內部應力消除的量。應力消除製程 122 係在圖 3B 之中之步驟 130 處開始，其中，振動製程在剛開始時係在步驟 132 處起始，並繼續下去直到所選擇的振幅以及頻率在步驟 134 處被達到為止。熱的處理製程係在步驟 136 處開始（同時振動係持續），並且溫度在步驟 138 處被監測。一旦在步驟 138 處達到所選擇的溫度設定（例如，在這個例子之中是 300°F ），所選擇的溫度及振動設定係在步驟 140 處被維持，直到同時處理時間 t 在步驟 142 處被判定為至少是所選擇的時間數值 t_{SEL} 為止。之後，熱量的應用係在

步驟 144 處被中斷，並且振動能量的應用在步驟 146 處被持續，直到結構的溫度 T 小於一個臨界溫度 T_{CRIT} （例如，在步驟 148 處的“是”）為止；之後，振動係在步驟 150 處被中斷並且方法 102 係在步驟 124 處結束。同時應用多種類型之能量的其他實施方式可以在本發明的範疇之內被構想出來。舉例來說，任一種製程（例如，熱或是振動）可以在另一種製程之前被啟動，或是二者皆在相同的時間開始。再者，任一種製程可以在另外一種製程被中斷了之後繼續下去，或是二者可以在相同的時間結束。為了要防止新的殘餘應力由於存在有熱梯度而生成，可能會希望振動能量的程度可以被保持，直到溫度落到啟動差排運動所需要的數值以下為止。在這個方面，圖 3B 所示的例子只是在本發明之範疇內的一個可能實施方式，其中，本發明及隨附的申請專利範圍並不會被限定於本文所顯示及所描述的示範性實施方式。在一個例子之中，當熱量已經存在時，一個溫度數值係會被選擇，而第二種形式的能量會在這個溫度數值處被應用。舉例來說，該溫度數值可以被選為一個部件將會在維修中看見的最高操作溫度、或是一個應力感應製程終了時的溫度、或是該部件在焊接之後變成固體時的溫度，而該部件可以接著在製程中的適當時間及用於應用振動或是其他震盪製程的溫度之下被使用。

上文所述的技術可以接著使用來自於二個一階反應速率關係或是來自於一個單獨組合之一階反應速率關係（其特徵為同時應用多種類型的能量）的第一及第二 L-M 關係

被用來決定 P_t 、 P_v 及 P_f 。舉例來說，當可以獲得一個熱量 L-M 曲線以及一個振動 L-M 曲線時， P_3 可以藉著將 P_2 從 P_1 扣除而被計算出來。一旦獲得 P_3 ，先前所選擇的溫度數值可以被用來決定同時應用能量的時間。第一及第二類型的能量係被同時應用一段適當的時間，一旦該結構已經達到上文所選擇之溫度數值即開始，並且接著熱能的應用係被中斷。第二類型的能量（例如，振動的能量）可以在之後持續，直到結構的溫度落到低於差排運動之啟動能量以下為止，用以改善應力消除的結果。這種在熱量能源移除之後繼續第二類型能量的技術可以有利地防止新的殘留應力藉著在冷卻期間固有存在的熱梯度而產生。

圖 4C 顯示了根據本發明之另一個概念的一個示範性系統 160，在該系統中，多種類型的能量可以被同時地提供到一個結構 162，用以根據本發明改變該結構的一個物理性質（例如，內部應力等等）。該系統 160 包含有經由纜線或是其他連結用連接裝置 166 而與該結構 162 操作性地連結的一個熱感應系統 164，用以將熱能提供到該結構 166，其中，該連接裝置 166 可以包括有用於根據標準熱感應技術將熱場提供於該結構之中的線圈。該系統 160 更包括有一個振動系統 170，其係被連結以將振動的能量（例如，機械振動）經由像是纜線、機械致動器等等的連接裝置 172 提供到該結構 162。該熱感應系統 164 以及振動系統 170 係根據分別來自於一個控制系統 180 的控制訊號 174 以及 176 而被操作，並且回饋訊號（例如，振動頻率、振

動的振幅、結構的溫度等等) 係沿著連接裝置 182 從與該結構操作地連結的電能變換器 (未顯示於圖中) 處被提供到該控制系統 180。

圖 4D 顯示了一個殘留在四個 7055-T7 鋁樣本之中之內部應力 (kpsi) 的繪圖 190, 該等樣本是藉著 ASTM E8 之抗張測試所產生者, 其中, 所有被測試的樣品係從被熱處理及測試的同一批樣品被選擇者, 並且該等樣品係在相同的狀況下被測試, 用以確保所有的樣品會以接近相等之內部應力狀態開始。所產生之內部應力係在根據四個於樣品表面下方之不同深度的技術被施以應力消除處理之後被顯示出來, 其中, 所觀察到之以始於表面之深度的應力變化為製造製程的一個結果並且對於這種結果的形式為典型者。對於一個第一樣品 (#1) 的應力結果係以一個曲線 191 被顯示出來, 對於一個第二樣品 (#2) 的應力結果係以一個曲線 192 被顯示出來, 並且對於一個第三樣品 (#3) 的應力結果係以一個曲線 193 被顯示出來。第四個樣品 (#4) 係根據本發明使用熱量及振動被測試, 並且用於第四樣品 (#4) 的示範性應力結果係以一個曲線 194 被顯示出來。

樣品 #1 僅使用在一個 53 Hz 之頻率的振動被施以應力消除 4 分鐘, 所產生之殘留的內部應力係被顯示於曲線 191 之中。樣品 #2 僅使用在相似之頻率狀況下的振動被施以應力消除 24 分鐘, 所產生之殘留的內部應力係被顯示於曲線 192 之中。樣品 #3 僅使用一個在 300°F 之熱量製程被

施以應力消除 4 分鐘。

第四個樣品 #4 係根據本發明使用同時應用熱量及振動能量被施以應力消除 4 分鐘，其中，在曲線 194 中所見的應力在整個量測的深度係接近零。在所示的例子之中，第四個樣品大致上係根據在上文之圖 3A 到圖 4B 的描述中所提出的操作設定而被處理，其係使用一個大約 300°F 的溫度設定以及被選擇來提供大於啟動能量之能的的震動設定，而該啟動能量係在於或接近在處理期間該結構係安裝於其中之系統的一個共振頻率。如同圖 4D 所展現的數據，在 4 分鐘之創造性製程中，第四個樣品 (#4) 的應力消除係足以在較其他樣品之只以振動或是只以熱量之技術還要少的時間內滿足所希望之應力消除目標的需求。

圖 5 顯示了另一個示範性方法 202，其係用於改變一個結構的物理性質以及用於決定一個根據本發明之同時之多重能量製程的操作設定，該方法係在步驟 204 處開始。在步驟 206 處，一個組合的一階反應速率關係係被決定，用於同時地將二種或多種類型的能量應用到一個結構，用於改變該結構的一個物理性質。在這個方法之中，該組合的一階反應速率關係與同時地將第一及第二種類型的能量應用到該結構以及該結構的一個物理性質有關，該一階反應速率關係可以是一個單一的 L-M 曲線或是其他的一階反應速率曲線。

為了要發展出一個結合了同時應用二種或更多種類型能量來消除應力或是改變其他性質之效果的一階反應速率

關係（例如，曲線、方程式、模型等等），可以在步驟 206 處使用以下的技術。對於熱量及振動類型能量的例子來說，與溫度有關的頻率被相信是強烈地與合金及部份構造（例如，包括被處理之結構的質量、尺寸、形狀等等，以及該結構係於處理期間被安裝於其中的系統）有關，並且微弱地與溫度有關。因此，可以選擇適合於該系統以及合金的一個頻率。如果系統的其他部分很穩定，可以達成細微的頻率調整，但是一般來說，頻率將不會大幅地在廣大的溫度範圍變化。測試的是片或是樣品（較佳地是來自於單一大塊的有興趣之塊材料（合金等等））可以被用來導出測試結果，用於繪製出一個組合的一階反應速率關係曲線。對於殘留或是內部應力的消除，通常拉伸的試片可以按照 ASTM E8 或是某些適當的測試方法來製造，並且被進行適當的測試到破壞。每個被破壞之拉伸試片的一半係被用來測試（例如，量測）基準殘留應力。每個拉伸試片的另外一半係在不同的時間及溫度使用同時應用熱量及振動能量（例如，使用如上文所決定的頻率設定）而被應力消除，其中，該溫度係被選擇，用以在所能獲得之熱源及時間限制之內產生一個廣大範圍的 L-M 參數。所產生（例如，量測）的殘留應力數值（例如，被計算出之應力消除的量）可以接著與對應的 L-M 參數相對被繪製出來，用以產生組合的關係曲線，其中，至少五個數據點係理想地被用來決定用於組合（例如，同時的）製程的 L-M 曲線。

從步驟 206 處產生之組合的一階反應速率關係曲線（

例如，或是一種適當之預先存在的組合一階反應速率關係) 係接著被用來決定時間及溫度設定以及用於製程應用的參數。一個組合的一階反應速率參數 P_c 係在步驟 208 處從組合的一階反應速率曲線或是關係被決定，其係對應所感到興趣之物理性質的一個所需要的數值。時間以及操作設定係被步驟 210 處被選擇，用於根據該一階反應速率參數 P_c 同時應用多重類型的能量，並且該第一及第二類型的能量係根據所選擇的操作設定及時間設定被同時提供到該結構 212，並且方法 202 係在步驟 214 處結束。

雖然本發明已經相對於一個或多個實施方式被顯示及描述，可以對所顯示的例子進行改變以及／或是修改，而不會偏離隨附之申請專利範圍的精神以及範疇。特別是關於由上文所述之構件或是結構（集體、單元、組件、裝置、電路、系統等等）所進行的各種功能，被用來描述此等構件的用詞（包括對於一個“機構（means）”的參照）是要用來對應（除非以其他的方式指出）任何進行所描述之構件之具體功能（例如，在功能上為同等者）的構件或是結構，雖然其在結構上並非同等地對應於進行在本文中所描述之本發明示範性功能的揭示結構。除此之外，雖然本發明的一個特殊特徵可能已經針對數種實施方式中的其中一種而被揭示出來，此一特徵可以如所希望地以及有利地與其他實施方式的一個或是多個其他特徵結合，用於任何特定或是特殊的應用。此外，對於被使用於詳細說明或是申請專利範圍之中的用詞“包括有”、“包括”、“具有

”、“有”、“帶有”、或是其變化的範圍來說，此等用詞是要包括在一種相似於用詞“包含有”的方式之中。

產業利用性

該等系統及方法可以被使用於消除部件及結構的領域之中，並且用以提供內部應力的加速消除。

【圖式簡單說明】

(一) 圖式部份

圖 1 為說明根據本發明使用同時應用多種類型的能量來修改或是改變一個結構之物理性質的示範性方法之流程圖；

圖 2A 為說明用於根據本發明之一個第一能量製程之示範性一階反應速率關係曲線的繪圖；

圖 2B 為說明用於根據本發明之一個第二能量製程之示範性一階反應速率關係曲線的繪圖；

圖 3A 為說明根據本發明減輕一個結構之應力的示範性方法之流程圖；

圖 3B 為說明圖 3A 之減輕應力示範性方法的進一步細節之流程圖；

圖 4A 為說明一個示範性拉森-米勒 (L-M) 關係曲線的繪圖，該關係曲線係用於根據本發明應用熱能來減輕 7055-T7 鋁結構的應力；

圖 4B 為說明一個示範性拉森-米勒關係曲線的繪圖，該關係曲線係用於根據本發明應用振盪的震動能量來減輕 7055-T7 鋁結構的應力；

圖 4C 為說明一個用於減輕一個結構之應力的示範性系統的概要圖，本發明的各種概念可以在該系統中實施；

圖 4D 為說明根據本發明處理之樣本結構與根據傳統技術處理之樣本的應力消除比較結果；以及

圖 5 為一個流程圖，其係說明了使用根據本發明之組合的一階反應速率關係來改變一個結構之物理性質的另一個示範性方法。

(二) 元件代表符號

- 2 方法
- 4 步驟
- 6 步驟
- 8 步驟
- 10 步驟
- 12 步驟
- 14 步驟
- 16 步驟
- 18 步驟
- 22 步驟
- 24 步驟
- 31 繪圖
- 32 繪圖
- 102 方法
- 104 步驟
- 106 步驟

- 108 步驟
- 110 步驟
- 114 步驟
- 116 步驟
- 118 步驟
- 120 步驟
- 122 步驟
- 124 步驟
- 130 步驟
- 132 步驟
- 134 步驟
- 136 步驟
- 138 步驟
- 140 步驟
- 142 步驟
- 144 步驟
- 146 步驟
- 148 步驟
- 150 步驟
- 151 繪圖 / L-M 關係曲線
- 152 繪圖 / L-M 關係曲線
- 160 系統
- 162 結構
- 164 熱感應系統

- 166 連接裝置
- 170 振動系統
- 172 連接裝置
- 174 控制訊號
- 176 控制訊號
- 180 控制系統
- 182 連接裝置
- 190 繪圖
- 191 曲線
- 192 曲線
- 193 曲線
- 194 曲線
- 202 方法
- 204 步驟
- 206 步驟
- 208 步驟
- 210 步驟
- 212 結構
- 214 步驟
- P_t 一階反應速率參數
- P_1 第一參數
- P_2 第二參數
- P_3 第三參數
- P_t 熱的 L-M 參數

Pv 振動的 L-M 參數

Pf 最後的 L-M 參數

Pc 組合的一階反應速率參數

伍、中文發明摘要：

用於修改一個結構之一個物理性質（像是減少或是消除殘留的內部應力）的方法係被呈現出來，其中，二種或是多種類型的能量係同時地被應用（140，142）到該結構，而以一種加速的方式改變所感到興趣的物理性質。像是熱量的一個第一類型的能量係根據時間數值以及操作設定被應用，該等時間數值及操作設定係從一個用於該第一類型能量的一階反應速率關係（151）以及從一個用於該第二類型能量的一階反應速率關係（152）被推導出來。該第二類型的能量（像是振動或是其他隨時間改變的能量形式）係被同時應用該時間數值的時間。方法亦被提供來決定用於同時將多種類型的能量應用到一個結構的操作設定。

陸、英文發明摘要：

Methods are presented for modifying a physical property of a structure, such as reducing or relieving remaining internal stress, in which two or more energy types are concurrently applied (140, 142) to the structure to change the physical property of interest in an accelerated fashion. A first energy type, such as heat, is applied according to time values and operational settings derived from a first order rate relationship (151) for the first energy type and form a first order rate relationship (152) for a second energy type. The second energy type, such as vibration or other

time-varying energy form, is applied concurrently for the time value. Methods are also provided for determining operational settings for concurrent application of multiple energy types to a structure.

拾、申請專利範圍：

1. 一種用於改變一個結構之一個物理性質的方法，該方法包含有以下的步驟：

藉著根據一個操作設定進行一個第一能量製程（136）將一個第一類型的能量提供到一個結構，該操作設定以及一個時間數值的至少其中之一的選擇係根據用於該第一能量製程（136）的一個一階反應速率關係（151）、根據用於一個第二能量製程的一個一階反應速率關係（152）、以及根據一個所希望的物理性質數值；

藉著進行該第二能量製程（132）將一個第二類型的能量以一個大於該結構之啟動能量的能量程度提供到該結構；

其中，該等第一及第二類型能量製程（132，136）係被同時地（140，142）進行至少該時間數值的時間；

其中，用於該第一能量製程的一階反應速率關係（151）係與將該第一類型能量應用到該結構以及該結構的一個物理性質有關；以及

其中，用於該第二能量製程的一階反應速率關係（152）係與將該第二類型能量應用到該結構以及該物理性質有關。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中，該第一類型的能量係為熱，並且，其中該第二類型的能量係為振動。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中，該操作

設定是一個溫度設定，其中，該溫度設定以及該時間數值的其中之一是根據用於該第一能量製程的一階反應速率關係 (151)、根據用於該第二能量製程的一階反應速率關係 (152)、根據該所希望的物理性質數值、以及根據該溫度設定及該時間數值中的另外一個而被選擇的。

4. 如申請專利範圍第 3 項所述之方法，其中，用於該第一能量製程的一階反應速率關係 (151) 是一個與將熱量應用到該結構以及該物理性質有關的第一拉森-米勒關係，並且其中，用於該第二能量製程的一階反應速率關係 (152) 是一個與將振動能量應用到該結構以及該物理性質有關的第二拉森-米勒關係。

5. 如申請專利範圍第 4 項所述之方法，該方法更包含有以下的步驟：

根據該第一拉森-米勒關係 (151) 決定一個第一拉森-米勒參數 (P_t)，該第一拉森-米勒參數 (P_t) 係對應該所希望之物理性質的數值；

根據該第二拉森-米勒關係 (152) 決定一個第二拉森-米勒參數 (P_v)，該第二拉森-米勒參數 (P_v) 係對應該所希望之物理性質的數值；

選擇該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個；

根據第一及第二拉森-米勒參數 (P_t , P_v)、根據該第一拉森-米勒關係 (151)、以及根據該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來選擇該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個。

6. 如申請專利範圍第 5 項所述之方法，其更包含有以下步驟：根據第一及第二拉森-米勒參數 (P_t , P_v) 來決定一個第三拉森-米勒參數 (P_f)，其中，該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個是根據該第三拉森-米勒參數 (P_f)、根據該第一拉森-米勒關係 (151)、以及根據該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來選擇的。

7. 如申請專利範圍第 6 項所述之方法，其中，決定該第三拉森-米勒參數 (P_f) 係包含有將第二拉森-米勒參數 (P_v) 從該第一拉森-米勒參數 (P_t) 扣除。

8. 如申請專利範圍第 7 項所述之方法，其中，選擇該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個係包含有使用第三拉森-米勒參數 (P_f) 以及該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來計算出該第一拉森-米勒關係 (151)，用以獲得該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個。

9. 如申請專利範圍第 4 項所述之方法，其中，該物理性質是內部應力，並且其中，所希望的物理性質數值是一個殘留內部應力的數值以及一個內部應力減少的數值之其中之一。

10. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中，該物理性質是內部應力，並且其中，所希望的物理性質數值是一個殘留內部應力的數值以及一個內部應力減少的數值之其中之一。

11. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中，用於該第一能量製程的一階反應速率關係 (151) 是一個與將第一

種類型的能量應用到該結構以及該物理性質有關的第一拉森-米勒關係，並且其中，用於該第二能量製程的一階反應速率關係（152）是一個與將第二種類型的能量應用到該結構以及該物理性質有關的第二拉森-米勒關係。

12. 如申請專利範圍第 11 項所述之方法，其係更包含有以下的步驟：

根據該第一拉森-米勒關係（151）決定一個第一拉森-米勒參數（ P_t ），該第一拉森-米勒參數（ P_t ）係對應該所希望之物理性質的數值；

根據該第二拉森-米勒關係（152）決定一個第二拉森-米勒參數（ P_v ），該第二拉森-米勒參數（ P_v ）係對應該所希望之物理性質的數值；

選擇該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個；

根據第一及第二拉森-米勒參數（ P_t ， P_v ）、根據該第一拉森-米勒關係（151）、以及根據該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來選擇該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個。

13. 如申請專利範圍第 12 項所述之方法，其更包含有以下的步驟：藉著將第二拉森-米勒參數（ P_v ）從該第一拉森-米勒參數（ P_t ）扣除來決定一個第三拉森-米勒參數（ P_f ），其中，該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個係根據該第三拉森-米勒參數（ P_f ）、根據該第一拉森米勒關係（151）、以及根據該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來選擇的。

14. 如申請專利範圍第 13 項所述之方法，其中，選擇該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個係包含有使用第三拉森-米勒參數 (Pf) 以及該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來計算出該第一拉森-米勒關係 (151)，用以獲得該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個。

15. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中，該第二種類型的能量是振動，其中，該第二種類型的能量係以一個根據一個系統之共振頻率被選擇的頻率，在進行該第一及第二能量製程的同時被提供到該結構，其中，該結構係被裝設在該系統之中。

16. 如申請專利範圍第 15 項所述之方法，其中，該第二類型的能量係以一個處於或是接近該系統之共振頻率的頻率被提供到該結構。

17. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中，該第二種類型的能量係選擇於含有聲音、雷射、電力、磁力、機械振動、以及微波的群組。

18. 一種改變一個結構之一個物理性質的方法，該方法包含有以下的步驟：

藉著根據一個操作設定進行一個第一能量製程 (136) 將一個第一類型的能量提供到一個結構；以及

藉著進行一個第二能量製程將一個第二類型的能量 (132) 以一個大於該結構之啟動能量的能量程度提供到該結構；

其中，該等第一及第二類型能量製程係被同時地 (140

，142) 進行至少該時間數值的時間；以及

其中，該操作設定及該時間數值中的其中之一是根據一個所希望的物理性質以及根據一個一階反應速率關係來選擇的，該一階反應速率關係與將該第一及第二類型能量同時地應用到該結構以及該結構的一個物理性質有關。

19. 如申請專利範圍第 18 項所述之方法，其更包含有以下步驟：決定與將該第一及第二類型能量同時地應用到該結構以及該結構的該物理性質有關的拉森-米勒關係 (206)。

20. 一種消除一個結構之應力的方法，其係包含有以下步驟：

決定 (106) 一個第一拉森-米勒關係，該第一拉森-米勒關係與將熱能應用到該結構以及在該結構中的內部應力有關；

決定 (108) 一個第二拉森-米勒關係，該第二拉森-米勒關係與將振動能量應用到該結構以及在該結構中的內部應力有關；

根據該第一拉森-米勒關係以及根據一個用於該結構之所希望的內部應力數值決定 (110) 一個第一拉森-米勒參數；

根據該第二拉森-米勒關係以及根據該所希望的內部應力數值決定 (112) 一個第二拉森-米勒參數；

根據該等第一及第二拉森-米勒參數而藉著將該第二拉森-米勒參數從該第一拉森-米勒參數扣除來決定 (114) 一

個第三拉森-米勒參數；

選擇 (116) 一個溫度設定及一個時間數值之中的其中第一個；

根據該第三拉森-米勒參數、根據該第一拉森-米勒關係、以及根據該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來選擇 (120) 該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個；

根據該結構被安裝於其中一個系統的一個共振頻率來選擇一個或多個振動操作設定；

根據熱能的操作設定將熱能提供 (120) 到該結構；以及

根據振動的操作設定將振動能量同時地提供 (122) 到該結構一段時間，該時間係大於或等於該時間數值。

21. 如申請專利範圍第 20 項所述之方法，其中，選擇 (120) 該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個係包含有以下的步驟：使用該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個以及該第三拉森-米勒參數來解出一個用於該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個之第一拉森-米勒方程式。

22. 一種決定操作設定及時間參數的方法，該等操作設定及時間參數係用於同時將多種類型的能量應用到一個結構，用以改變該結構的一個物理性質，該方法包含有：

根據一個用於該結構之所希望的物理性質數值以及根據一個用於一個第一能量製程的一階反應速率關係來決定

(110) 一個第一參數，其中，該第一能量製程係與將一個第一類型的能量應用到該結構以及該物理性質有關；

根據該所希望的物理性質數值以及根據一個用於一個第二能量製程的一階反應速率關係來決定 (112) 一個第二參數，其中，該第二能量製程係與將一個第二類型的能量應用到該結構以及該物理性質有關；

選擇 (116) 用於該第一能量製程之一個溫度設定及一個時間數值之中的其中第一個；以及

根據該第一及第二參數、根據用於該第一能量製程的一階反應速率關係、以及根據該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來選擇 (120) 該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個。

23. 如申請專利範圍第 22 項所述之方法，其更包含有以下的步驟：

決定 (106) 用於該第一能量製程的一階反應速率關係；以及

決定 (108) 用於該第二能量製程的一階反應速率關係。

24. 如申請專利範圍第 22 項所述之方法，其中，用於該第一能量製程的一階反應速率關係是一個與將第一種類型的能量應用到該結構以及該物理性質有關的第一拉森-米勒關係，並且其中，用於該第二能量製程的一階反應速率關係是一個與將第二種類型的能量應用到該結構以及該物理性質有關的第二拉森-米勒關係。

25. 如申請專利範圍第 22 項所述之方法，其更包含有以下的步驟：根據第一及第二參數來決定 (114) 一個第三參數，其中，該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個是根據該第三參數、根據用於該第一能量製程的一階反應速率關係、以及根據該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來選擇 (120) 的。

26. 如申請專利範圍第 25 項所述之方法，其中，決定 (114) 該第三參數的步驟包含有將該第二參數從該第一參數扣除。

27. 如申請專利範圍第 25 項所述之方法，其中，選擇 (120) 該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個係包含有以下的步驟：使用該第三參數以及該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來算出一個用於該第一能量製程的一階反應速率關係，用以獲得該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個。

28. 如申請專利範圍第 22 項所述之方法，其中，該物理性質是內部應力，並且其中，所希望的物理性質數值是一個殘留內部應力的數值以及一個內部應力減少的數值之其中之一。

29. 一種決定操作設定的方法，該等操作設定係用於同時將多種類型的能量應用到一個結構。用以改變一個結構的一個物理性質，該方法包含有：

根據一個一階反應速率關係來決定 (208) 一個一階反應速率參數，其中，該一階反應速率關係與同時地將第一

及第二類型的能量應用到該結構以及該結構的一個物理性質有關，該一階反應速率參數係對應一個用於該結構之所希望的物理性質數值；

選擇 (210) 用於該第一能量製程之一個操作設定以及一個時間數值之中的其中第一個；以及

根據該一階反應速率參數、根據用於該一階反應速率關係、以及根據該溫度設定及該時間數值之中的其中第一個來選擇 (210) 該溫度設定及該時間數值之中的其中第二個。

30. 如申請專利範圍第 29 項所述之方法，其更包含有以下的步驟：決定 (206) 與同時地將第一及第二類型的能量應用到該結構以及該結構的一個物理性質相關的一階反應速率關係。

31. 一種用於改變一個結構之一個性質的系統，該系統包含有：

一個熱量來源 (164) ；

一個振動能量來源 (170) ；以及

一個控制系統 (180) ，該控制系統係將控制訊號 (174, 176) 提供到該熱量來源 (164) 以及該振動能量來源 (170) ，用以同時地控制來自於該熱量來源 (164) 以及該振動能量來源 (170) 之熱量及振動能量到達一個結構 (162) 的傳送。

32. 如申請專利範圍第 31 項所述之系統，其更包含有操作性地與該結構聯結的電能變換器，用以將回饋訊號 (

182) 提供到該控制系統 (180) 。

拾壹、圖式：

如次頁

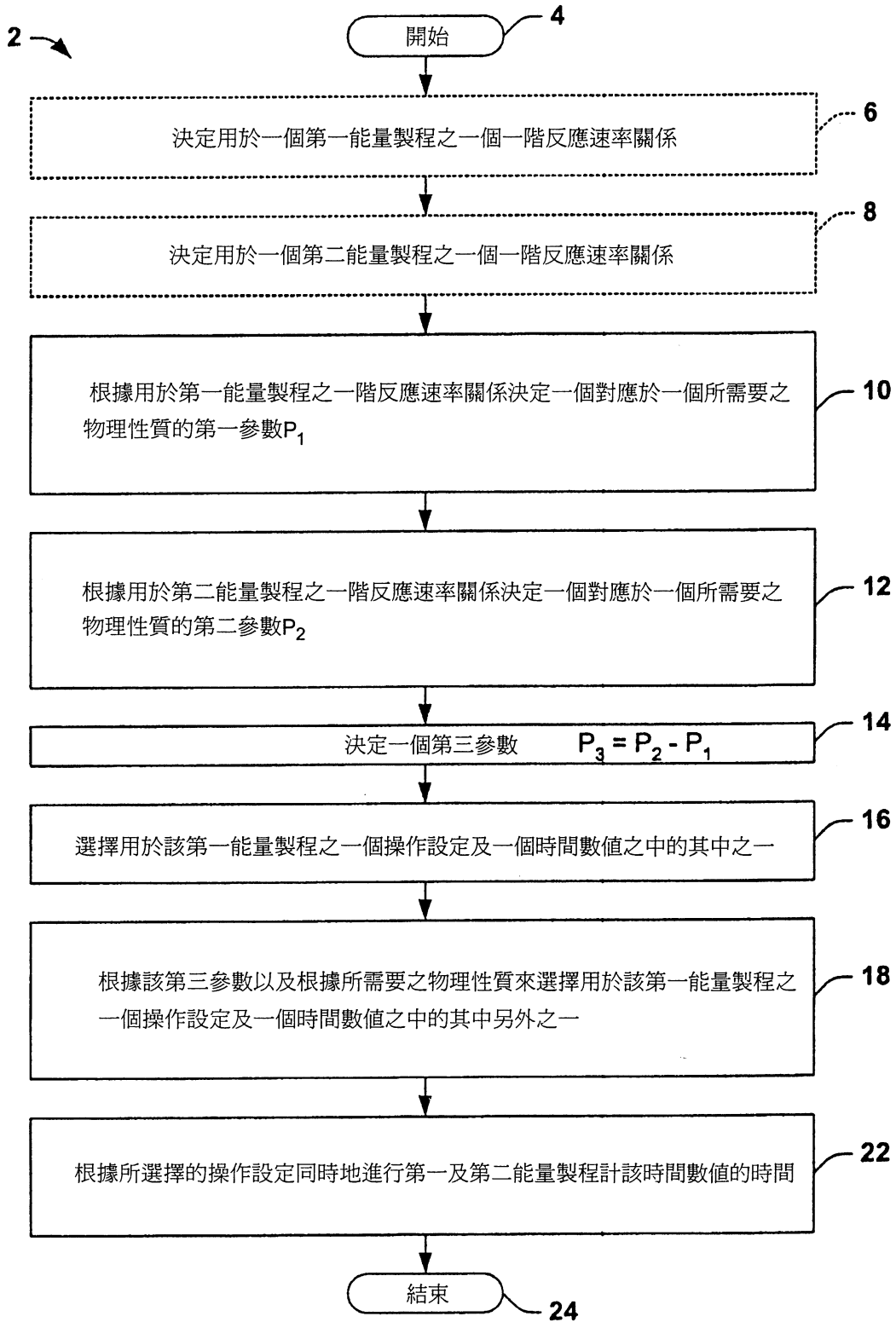


圖 1

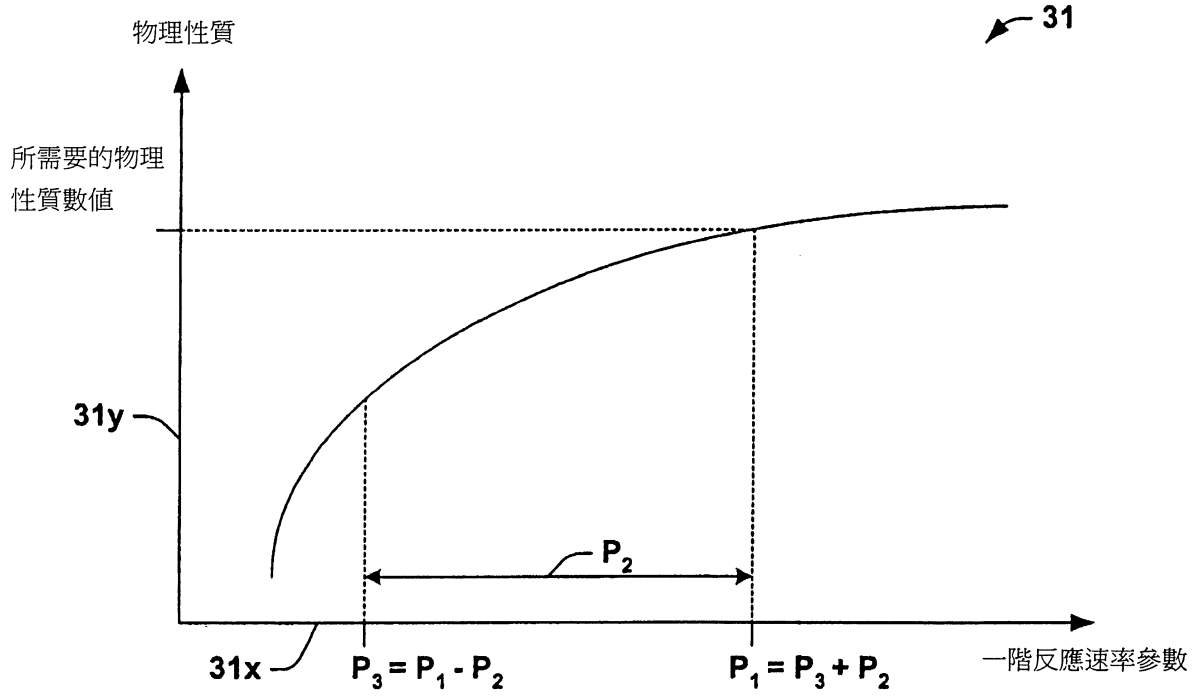


圖 2A

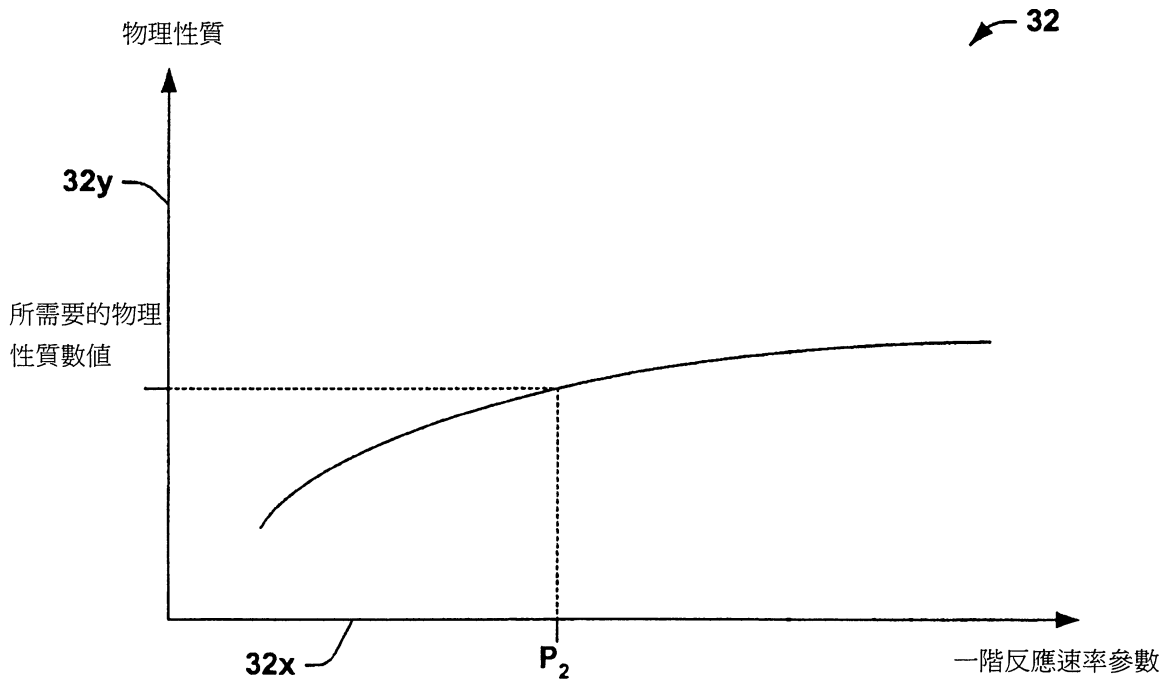


圖 2B

3/7

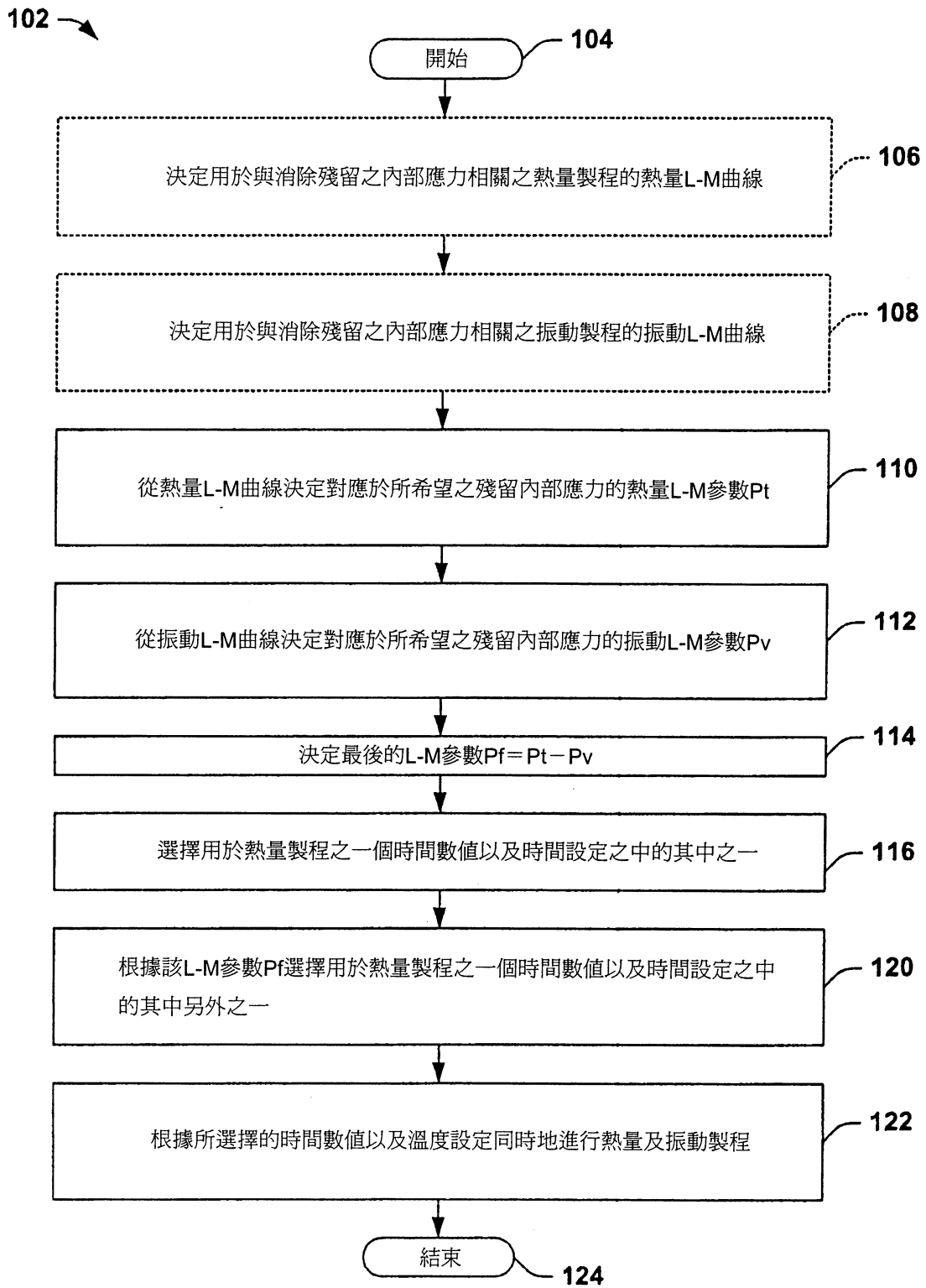


圖 3A

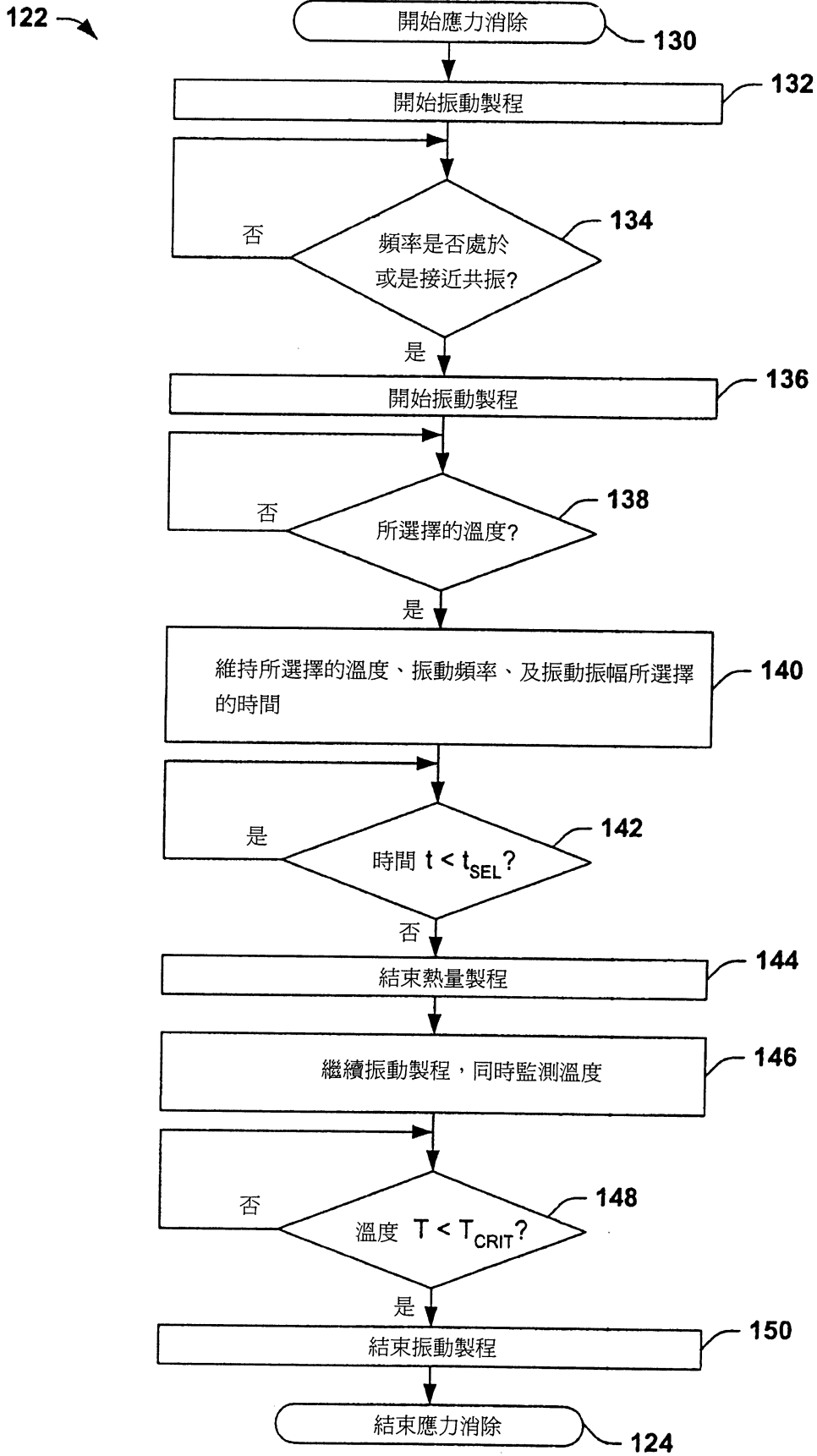


圖 3B

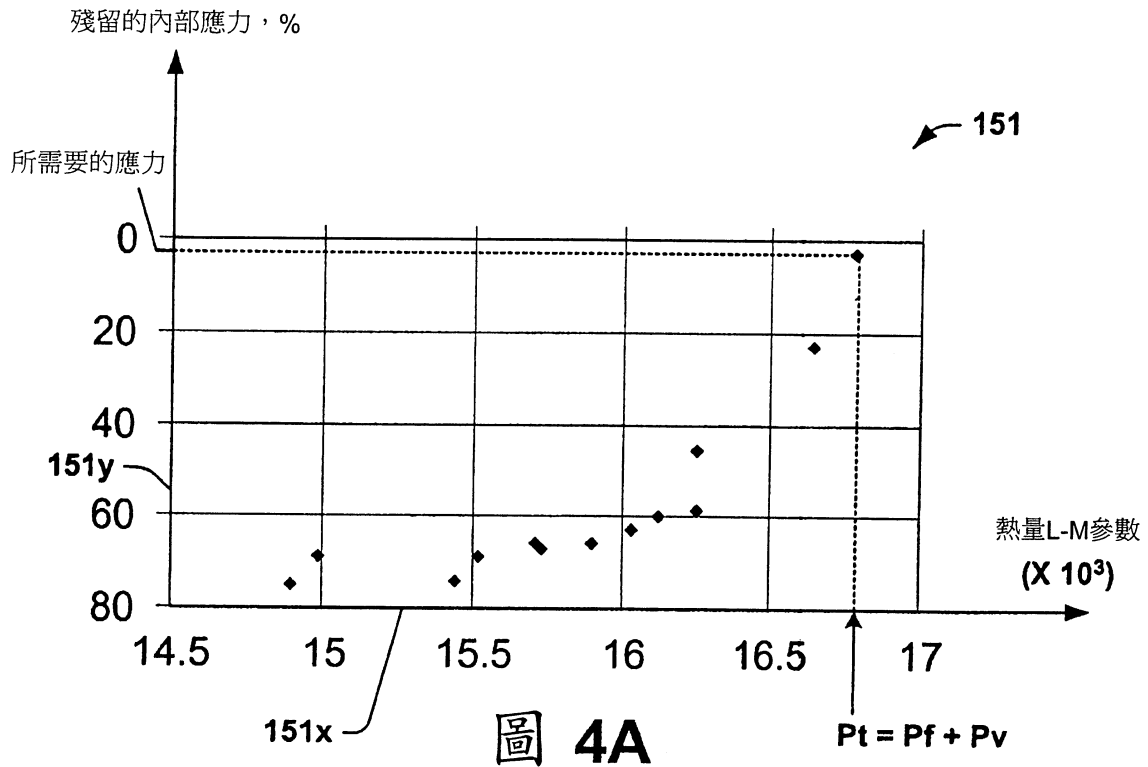


圖 4A

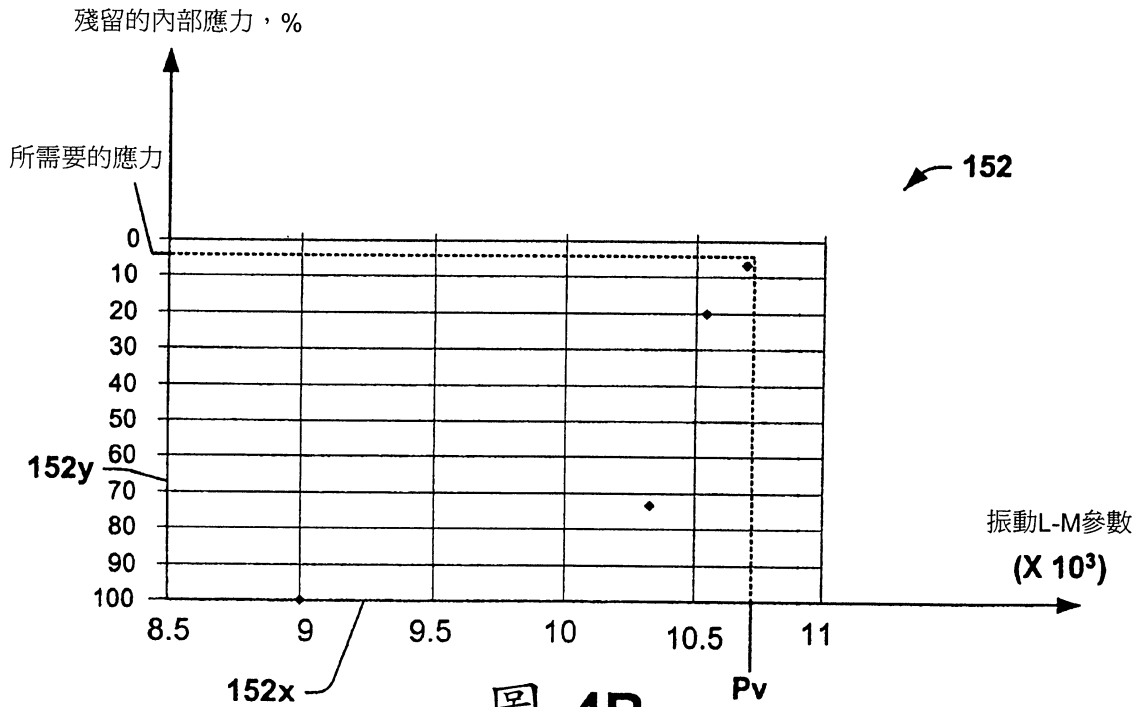


圖 4B

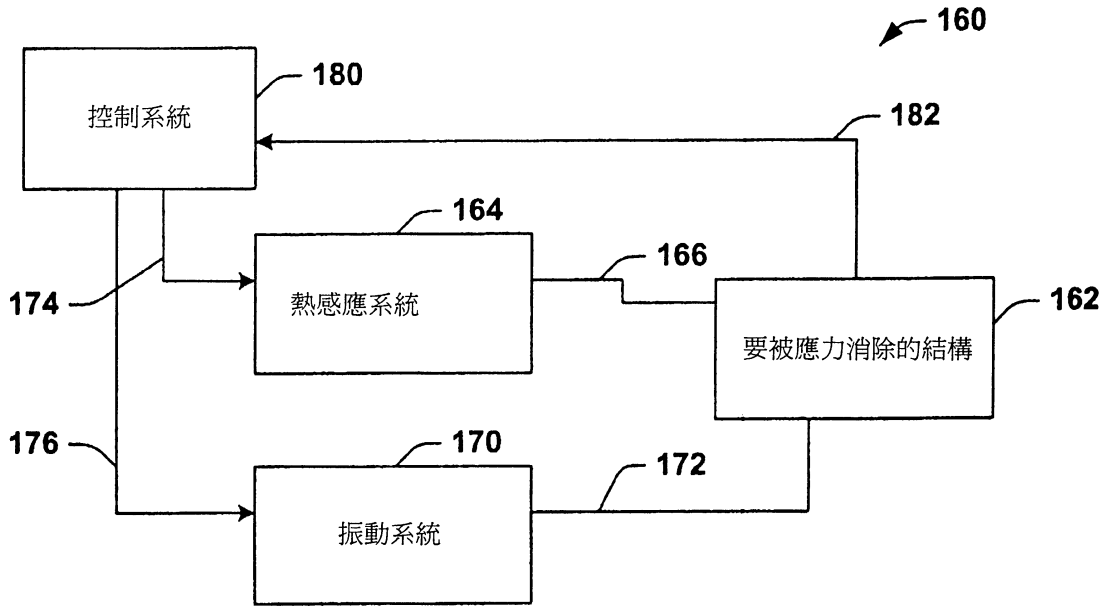


圖 4C

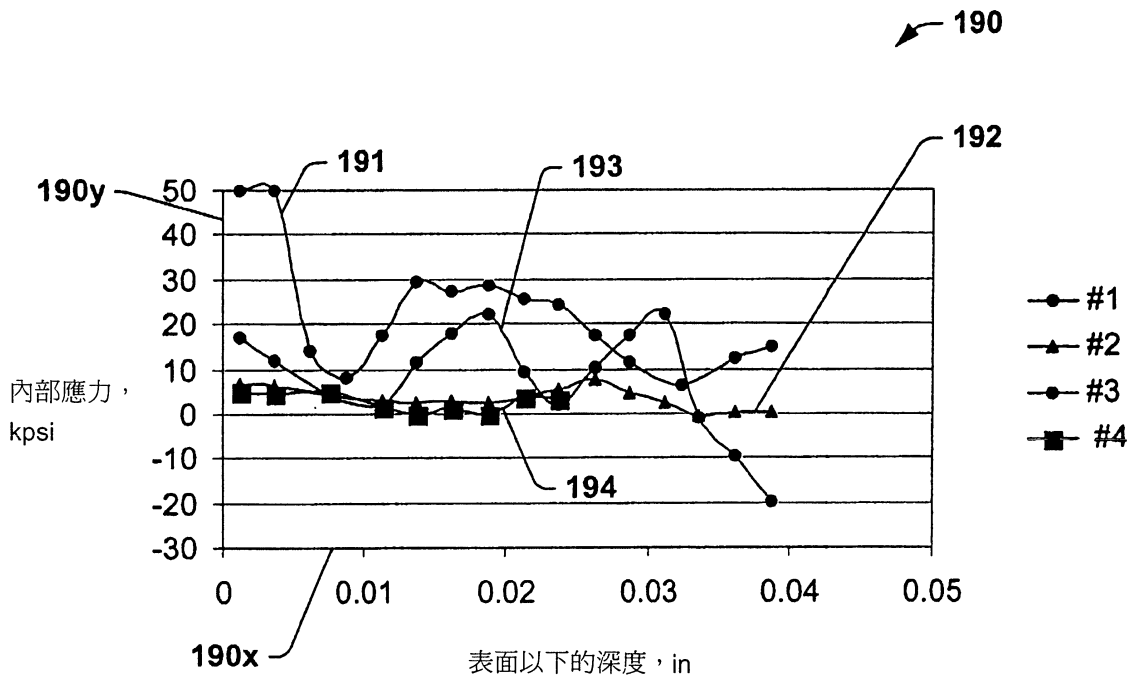


圖 4D

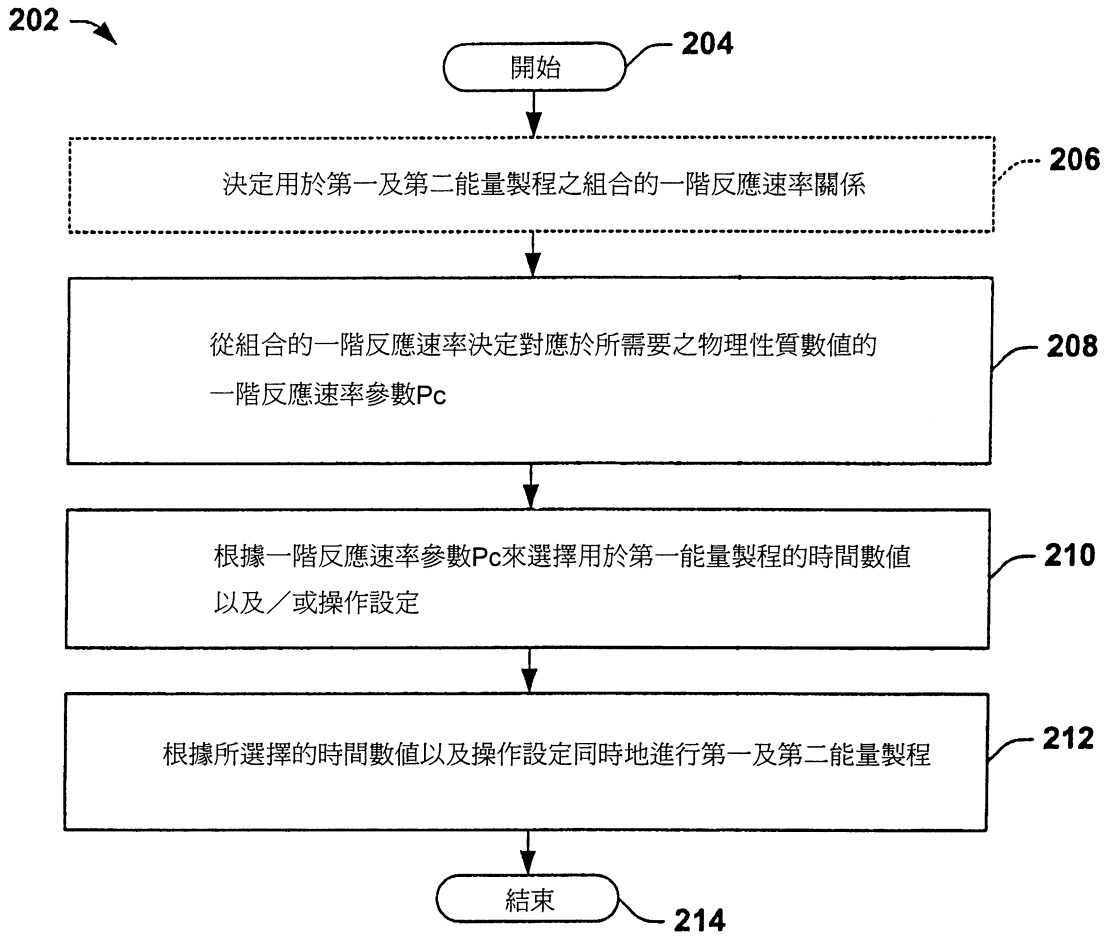


圖 5

柒、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(1)圖。

(二)本代表圖之元件代表符號簡單說明：

- 2 方法
- 4 步驟
- 6 步驟
- 8 步驟
- 10 步驟
- 12 步驟
- 14 步驟
- 16 步驟
- 18 步驟
- 22 步驟
- 24 步驟

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無