

發明專利說明書

200533461

(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：94108862

※申請日期：94.3.22

※IPC 分類：B23B 11/10

一、發明名稱：(中文/英文)

在形成及成形材料時改善工作表面的設備及方法

AN APPARATUS AND METHOD FOR IMPROVING WORK

SURFACE DURING FORMING AND SHAPING OF MATERIALS

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

氣體產品及化學品股份公司/AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC.

代表人：(中文/英文) 馬克·L·羅傑斯 / RODGERS, MARK L.

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國賓州艾倫鎮漢彌爾頓大道 7201 號

7201 Hamilton Boulevard, Allentown, PA 18195-1501, US

國 籍：(中文/英文) 美國/U.S.A.

三、發明人：(共 4 人)

姓 名：(中文/英文)

1) 比格尼·朱勒奇 / ZURECKI, ZBIGNIEW

2) 雷那吉特·古斯 / GHOSH, RANAJIT

3) 約翰·何巴特·法蘭 / FREY, JOHN HERBERT

4) 蘭斯·麥克·格利姆 / GRIMM, LANCE MICHAEL

國 籍：(中文/英文) 1)、3)及 4)、美國 / U.S.A. ; 2)印度 / India

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項 ☐ 第一款或 ☐ 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

☒ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

美國；2004/03/25；10/809,773

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

發明所屬之技術領域

本發明涉及通過各種方法，包括但不侷限於切削（例如，通過除去呈切屑形式的多餘材料來成形零件）和其他加工，進行材料形成和成形的領域，並且尤其涉及改善通過這種方法利用低溫冷卻和其他處理，包括但不侷限於熱處理、化學處理和機械處理，所形成和成形的金屬和其他工程材料（例如聚合物和各種複合材料）的表面光潔度和表面完整性。

先前技術

本文使用的術語“切削”包括但不侷限於以下操作：車削、搪孔、分割、開槽、刮削、刨削、銑削、鑽削和其他產生連續切屑或碎片或片斷碎片切屑的操作。術語“切削”不包括：研磨、放電（electro-discharge）加工、或高壓噴射腐蝕切削，即產生不確定形狀的極細切屑，如屑或粉末，的研磨操作。

本文使用的術語“完整性”是指品質，並且更具體地是指在所處理的加工表面上所需要的殘餘應力的狀態、打磨工具產生的尺寸精度和/或無外來物質（absence of artifact）或常規形成或成形方法導致的其他不希望的面改變。

製造工業需要更快地生產更多的零件或產品，也就是，更快地生產每一個零件或產品並且不增加每一個零件

的成本或不危及零件的品質。更具體地，需要改進方法，使生產指定的高品質的零件或產品所需的製造步驟數目和/或程度達到最小，這些製造步驟如軟粗磨，一般在熱處理之前進行；或精磨和拋光/搪磨，一般接著熱處理進行；或清洗步驟，由於被常規的加工流體引起的污染通常在零件、加工工具和工作環境中進行。而且，工業上的興趣在於除去實現形成或加工處理循環的噴砂、拋光、修邊和局部深滾壓操作或使這些操作的程度達到最小，在許多金屬產品的情況下，使用這些操作以便增加加工表面的完整性或除去在形成或加工過程中產生的有害張應力。也需要改進方法促進形成和加工操作，使資本費用例如達到特定生產目標所需加工工具的數目最小，和/或減少加工成本和與消耗品有關的成本。

美國專利 No.5,878,496 (Liu 等)公開了一種方法，該方法減少加工步驟同時通過常規加工參數包括工具的饋送率和刀尖半徑的實驗和建模操作生產具有可接收表面光潔度的硬質加工零件。然而該專利沒有教導如何提高生產率、增加切削工具壽命、或減小加工表面的粗糙度。

有相當多的現有技術出版物涉及一些低溫噴霧或噴射形式以除去清洗操作，實現各種切削工具的生產率，和/或防止加工表面內不希望的微觀結構變化。參見例如，WO02/096598A1 (Zurecki 等人)、WO99/60079 (Hong)、美國專利申請號 2003/0145694A1 (Zurecki 等人) 和 2003/0110781A1 (Zurecki 等人)、和美國專利號 5,901623

(Hong)、5,509,335 (Emerson)、4,829,859 (Yankoff)、3,971,114 (Dudley)。然而，這些公開物和本文中討論的其他現有技術的參考文獻均沒有解決這些問題，或沒有滿足本文所討論的各種需要。

美國專利號 5,761,974 (Wang 等人)公開了使用一種低溫熱交換器與工件相互接觸，該工件與切削工具的刀刃接觸，從而通過使用熱交換器避免冷凍流體與工件之間的直接接觸。美國專利號 5,103,701 (Lundin 等人)公開：當鋒利的金剛石切削工具與鐵質加工材料接觸時，整個工件的低溫冷凍可提高工具壽命。這兩篇專利教導的方法提高了工具的生產率，但是，第一種方法不能有效地控制加工表面光潔度和完整性，而第二種方法需要大範圍調整加工工具，這在大多數工業應用中太昂貴難以接收。

美國專利號 5,592,863 (Jaskowiak 等人)公開一種方法：在加工聚合物工件過程中，使用低溫冷卻從連續的切屑中產生不連續的切屑。該方法通過冷卻切屑，而不是冷卻切削工具或聚合物工件，該方法沒有提高工具的生產率或工件表面的光潔度和完整性。

美國專利號 6,622,570B1 (Pervey, III) 和美國專利申請號 2002/0174528A1 (Prevey, III) 公開了除去在加工表面上由各種製造操作（例如車削）引起的不希望有的張應力和，並且給予所需要的壓縮應力的方法。眾所周知加工表面的壓縮殘餘應力增強產品零件的疲勞強度和疲勞壽命，同時減少它們對應力腐蝕裂紋的敏感性。對於金屬元件的

製造者和使用者而言，所增強的耐應力腐蝕裂紋和耐金屬腐蝕的其他應力加速形式是無價的。校正殘餘表面應力分佈的關鍵方法（也就是，增加其壓縮成分）包括珠擊加工（shot peening）和鐳射珠擊加工，眾所周知這兩種方法均使加工表面光潔度惡化或受損壞，並且如果應用到最大程度，則增加加工粗糙度。在美國專利號 6,658,907B2 (Inoue 等人)和美國專利號 6,666,061B2 (Heimann)中可以發現這一問題的進一步說明，後者用深滾壓處理，另外一種在所製造零件表面上應用的應力調整方法。這四篇專利出版物說明工業上面臨的兩個關鍵並且仍然沒有解決的問題：(a) 在形成或成形步驟之後，經常需要額外的、昂貴的製造步驟調整殘餘表面應力，和 (b) 目前，在表面光潔度和應力調整操作過程中所賦予的壓縮應力之間權衡。顯然，沒有滿足改善形成、成形和加工方法的需要，該方法應該能同時增強表面光潔度和壓縮應力而不需要額外的製造步驟。

還有其他報導：在硬質鋼的常規、非冷凍車削過程中，鋒利的切削刀改善表面光潔度和/或稍微增強所需要的壓縮殘餘應力，而從工具壽命和生產率觀點看，優選圓的或塘磨的刃，使工件表面更加粗糙和/或更少的壓縮。J.D. Thiele 和 S.N. Melkote 的 *Effect of cutting edge geometry and work piece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel*, Journal of Materials Processing Technology, 94 (1999), 第 216-226 頁；和 F. Gunnberg, “*Surface Integrity Generated by Hard Turning*,”

論文，Dept of Product Development, Chalmers University of Technology, 哥德堡，瑞典 2003。發現：隨著加工材料的硬度增加，磨刀的幾何形狀對加工表面光潔度的影響減少，但是通過在加工操作過程前或過程中調整加工表面硬度來控制表面光潔度和完整性，同時維持可以接收的工具壽命和高的生產率，這一方面沒有得出結論。

對於非常相似的加工條件已經報導的實驗粗糙度數據也強調了 Thiele 和 Melkote 提出的材料硬度作用的不確定性質，這些資料表明只要加工硬度增加，粗糙度就增加。參見 T. Ozel, Tsu-Kong Hsu, 和 E. Zeren, *Effects of Cutting Edge Geometry, Workpiece Hardness, Feed Rate and Cutting Speed on Surface Roughness and Forces in Finish Turning of Hardened AISI H13 steel*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology(2003)。

因而，即使現有技術提供的內容不相互矛盾，對於以上討論的工業需要也只是片斷的並且不完整的方案，並且說明需要更全面的方法以減少製造步驟和成本同時改善加工面光潔度和完整性。要求簡單、全面解決方案的特定領域包括：(a) 在利用低溫噴射進行加工過程中冷卻並硬化切削工具的有效性，優選的是能減少工具磨損和成本、增加生產率、並從製備過程中除去清洗步驟，(b) 應用低溫噴射使加工過程中產生的加工表面的粗糙度達最小並使壓縮應力達最大，以至於不需要額外的拋光步驟，和 (c) 在切削過程前和過程中進一步改變加工材料的性能，使所加

工表面的粗糙度達最小，因而，除去精磨步驟的需要。

希望有一種改善工件表面光潔度和完整性的方法和設備，該方法和設備能滿足以上需要，並且解決本文中所討論的問題。

進一步希望有一種改善工件表面光潔度和完整性的方法和設備，該方法和設備能克服現有技術的困難和缺點以提供更好和更多優點的結果。

還進一步希望有一種形成或成形工件的方法和設備，該方法和設備能克服現有技術的困難和缺點以提供更好和更多優點的結果。

同樣希望有一種製造成品零件和產品的方法和設備，該方法和設備能除去現有技術的製造過程和系統中需要的一個或多個步驟或元件。

發明內容

申請人的發明是一種改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和/或完整性的方法和設備。本發明另外一個方面是一種用於形成或成形工件的方法和設備。本發明的另外一個方面是一種從工件製造成品零件和成品的方法和設備。本發明其他方面是由該形成或成形方法和設備形成或成形的工件，和由該製造方法和設備製造的成品零件或成品。本發明也包括將一種冷凍劑的膨脹射流噴射到工件表面上的噴嘴。

改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和表面完

整性中的至少一種的方法的第一個實施方案，該工件具有表面硬度，該實施方案包括在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度。（“表面光潔度”和“表面完整性”在上述本發明的背景技術部分中和在以下本發明的詳細說明部分中定義和討論）。這種方法的第一個實施方案有幾種變化方案。

在一個變化方案中，通過用冷凍流體冷卻工具的至少一部分、或工件的至少一部分、或工具的至少一部分和工件的至少一部分，來增加工件表面硬度。在這種變化方案中的改動中，冷凍流體的射流撞擊在工具的一部分和工件表面的一部分上。這種改動有幾種變化方案。

在該改動的一個變化方案中，冷凍流體的射流以大於約 0° 並小於約 90° 的撞擊角（ α ）撞擊在工具的一部分上。在另一個變化方案中，冷凍流體的射流以大於約 30° 並小於約 90° 的撞擊角（ α ）撞擊在工具的一部分上。在還有另一個變化方案中，冷凍流體的射流以大於約 0° 並小於約 180° 的散佈角（ β ）撞擊在工件的表面上。

改善用工具形成或成形工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的方法的第二個實施方案，該工件具有表面硬度，該實施方案包括在用工具形成或成形工件之前、用工具形成或成形工件的過程中、或用工具形成或成形工件過程之前和過程之中，增加工件表面硬度。在這個實施方案的變化方案中，通過熱處理、化學處理和機械處理中的至少一種方法增加工件表面硬度。

改善用切削工具加工的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的方法的第三個實施方案，該工件具有表面硬度，該實施方案包括在用切削工具加工工件過程中增加工件表面硬度，其中通過用冷凍流體冷卻切削工具的至少一部分和工件的至少一部分來增加工件表面硬度，並且冷凍流體的射流以大於約 0° 並小於約 90° 的撞擊角 (α) 撞擊在切削工具的一部分上，而冷凍流體的射流以大於約 0° 並小於約 180° 的散佈角 (β) 撞擊在工件的表面上。

改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的方法的第四個實施方案包括多個步驟。第一步是冷凍劑的供應。第二步是在工件附近提供噴嘴。噴嘴包括多個元件。第一個元件是至少一個用於接收冷凍劑流的進口。第二個元件是與所述至少一個進口流體連通的上游部分，該上游部分適合接收至少一部分來自於所述至少一個進口的冷凍劑流。第三個元件是與上游部分流體連通並且用於接收至少一部分來自於上游部分的冷凍劑流的下游部分。第四個元件是與下游部分流體連通並且用於接收並且發射至少一部分來自於下游部分的冷凍劑流的至少一個出口。第三步是將一部分冷凍劑送到噴嘴的所述至少一個進口，其中冷凍劑在噴嘴的下游部分內至少部分分離成凝聚相部分和蒸汽部分。第四步是將凝聚相部分和蒸汽部分的至少一部分膨脹射流從噴嘴的所述至少一個出口噴射到工具和工件表面上。

在第四個實施方案的變化方案中，噴嘴的下游部分具

有至少一個分散壁 (diverging wall) 和至少一個用於收斂膨脹射流的收斂壁 (converging wall)。在該變化方案的改動中，所述至少一個分散壁具有分散角，並且所述至少一個收斂壁具有小於分散角的收斂角。在另外一種改動中，分散壁對環境大氣敞開。

另外一個實施方案是改善用切削工具加工的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的方法。該實施方案包括多個步驟。這個實施方案的前三步與上述方法的第四個實施方案的前三步相同。第四步是將凝聚相部分和蒸汽部分的至少一部分膨脹射流從噴嘴的所述至少一個出口噴射到切削工具和工件表面上，其中噴嘴的下游部分具有至少一個向環境大氣敞開的分散壁和至少一個用於收斂膨脹射流的收斂壁，並且其中該至少一個分散壁具有分散角，並且該至少一個收斂壁具有小於分散角的收斂角。

本發明的另外一個方面是形成或成形一種具有表面硬度的工件的方法。這種方法的第一個實施方案包括多個步驟。第一步是在工件附近提供工具，該工具用於形成或成形工件。第二步是用該工具形成或成形工件。第三步是在用工具形成或成形工件的過程中增加工件表面硬度。

本發明的另外一個方面是通過上述方法所形成或成形的工件，該工件的特徵在於具有改善的表面光潔度、改善的表面完整性、或同時具有改善的表面光潔度和改善的表面完整性。本發明的這一個方面有幾個變化方案。

在一個變化方案中，工件具有加工表面粗糙度 (Ra)，

其中該加工表面粗糙度 (Ra) 等於或小於理論粗糙度下限 (Ra-t)，按照 $Ra-t = f^2/(32r)$ 計算，其中 f 是切削工具的饋送率，而 r 是切削工具刀尖半徑。

在另外一個變化方案中，工件具有形成或成形的加工表面，該加工表面特徵在於具有改善的殘餘應力，所述改善的殘餘應力比由形成或成形工件而沒有在工件的形成或成形過程中增加工件表面硬度所獲得的另外一種殘餘應力壓縮更大、延伸更深、或壓縮更大並且延伸更深。

在還有另外一個變化方案中，工件包含具有選自鈷 (Co)、鉻 (Cr)、鉬 (Mo)、鎳 (Ni)、鐵 (Fe)、鎢 (W)、鋁 (Al)、鈦 (Ti)、鉭 (Ta)、鈮 (Nb) 和釩 (V) 中的至少一種元素的金屬合金。

本發明的這一方面還有其他的變化方案。在一個這樣的變化方案中，工件的形式選自鑄造形式、鍛造形式、粉末冶金形式和複合材料形式。在另外一個變化方案中，工件包含至少一種聚合物或至少一種聚合物基的複合材料。在還有一個變化方案中，工件具有形成或成形的加工表面，該加工表面特徵在於具有改善的疲勞強度、改善的疲勞壽命、改善的耐應力裂紋性能和改善的耐腐蝕性能中的至少一種。

另外一個實施方案是加工具有表面硬度的工件的方法，包括多個步驟。第一步是在工件附近提供切削工具，切削工具用於成形工件。第二步是用切削工具成形工件。第三步是在用切削工具成形工件的過程中增加工件表面硬

度，其中成形的工件特徵在於具有改善的表面光潔度，其表面粗糙度（Ra）等於或小於理論粗糙度下限（Ra-t），按照 $Ra-t = f^2/(32r)$ 計算，其中 f 是切削工具的饋送率，而 r 是切削工具刀尖半徑。

本發明的另外一個方面是從具有表面硬度的工件製造成品零件或成品的的方法。該方法的一個實施方案包括多個步驟。第一步是在工件附近提供工具，該工具用於形成或成形工件。第二步是用工具形成或成形工件。第三步是在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度。第四步是從用工具形成或成形的工件製造成品零件或成品。

在這個方法的一個變化方案中，從工件製造成品零件或成品無需使用由至少一種其他方法製造類似

（comparable）成品零件和類似成品所需要的至少一個額外操作，其他方法從具有類似表面硬度的類似工件形成或成形類似成品零件或類似成品而在類似工件的形成或成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度，所述的至少一種額外操作選自研磨、拋光、搪磨、修邊、輕敲處理、滾磨、磨光、深滾壓、軟退火、軟機械加工、軟成形、軟形成和加工零件的清洗。

本發明的另外一個方面是由上述方法製造的成品零件或成品，並且特徵在於具有減少了製造成本。所述減少的製造成本小於由至少一種其他方法製造類似成品零件或類似成品所需的高製造成本，該至少一種其他方法形成或成形具有類似表面硬度的類似工件而在類似工件的形成或成

形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度。

從具有表面硬度的工件製造成品零件的方法的另外一個實施方案包括多個步驟。第一步是在工件附近提供切削工具，切削工具用於成形工件。第二步是用切削工具成形工件。第三步是在用切削工具成形工件的過程中增加工件表面硬度。第四步是從用切削工具成形的工件製造成品零件，其中從工件製造成品零件無需使用由至少一種其他方法製造類似成品零件所需要的至少一個額外操作，其他方法從具有類似表面硬度的類似工件成形類似成品零件而在類似工件的成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度，所述的至少一種額外操作選自研磨、拋光、搪磨、修邊、輕敲處理、滾磨、磨光、深滾壓、軟退火、軟機械加工、軟成形、軟形成和加工零件的清洗。

改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的設備的第一個實施方案，該工件具有表面硬度，該實施方案包括在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度的裝置。這種設備的實施方案有幾種變化方案。

在一個變化方案中，通過用冷凍流體冷卻工具的至少一部分、或工件的至少一部分，或工具的至少一部分和工件的至少一部分，來增加工件表面硬度。在這個變化方案的改動中，冷凍流體的射流撞擊在工具的一部分和工件表面的一部分上。這種改動有幾種變化方案。

在這種改動的一個變化方案中，冷凍流體的射流以大

於約 0° 並小於約 90° 的撞擊角 (α) 撞擊在工具的一部分上。在另一個變化方案中，冷凍流體的射流以大於約 30° 並小於約 90° 的撞擊角 (α) 撞擊在工具的一部分上。在還有另一個變化方案中，冷凍流體的射流以大於約 0° 並小於約 180° 的散佈角 (β) 撞擊在工件的表面上。

改善用工具形成或成形工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的設備的第二個實施方案，該工件具有表面硬度，該實施方案包括在用工具形成或成形工件之前、用工具形成或成形工件的過程中、或用工具形成或成形工件過程之前和過程之中增加工件表面硬度的裝置。在這個實施方案的變化方案中，通過熱處理、化學處理和機械處理中的至少一種增加工件表面硬度。

改善用切削工具加工的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的設備的第三個實施方案，該工件具有表面硬度，該實施方案包括在用切削工具加工工件過程中增加工件表面硬度的裝置，其中通過用冷凍流體冷卻切削工具的至少一部分和工件的至少一部分來增加工件表面硬度，並且冷凍流體的射流以大於約 0° 並小於約 90° 的撞擊角 (α) 撞擊在切削工具的一部分上，而冷凍流體的射流以大於約 0° 並小於約 180° 的散佈角 (β) 撞擊在工件的表面上。

改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的設備的第四個實施方案包括多個元件。第一個元件是冷凍劑的供應。第二個元件是在工件附

近的噴嘴。噴嘴包括多個子元件。第一個子元件是用於接收冷凍劑流的至少一個進口。第二個子元件是與所述至少一個進口流體連通的上游部分，該上游部分用於接收至少一部分來自於所述至少一個進口的冷凍劑流。第三個子元件是與上游部分流體連通並且用於接收至少一部分來自於上游部分的冷凍劑流的下游部分。第四個元件是與下游部分流體連通並且用於接收並且發射至少一部分來自於下游部分的冷凍劑流的至少一個出口。該設備的第三個元件是將一部分冷凍劑送到噴嘴的所述至少一個進口的裝置，其中冷凍劑在噴嘴的下游部分內至少部分分離成凝聚相部分和蒸汽部分。第四個元件是將凝聚相部分和蒸汽部分的至少一部分膨脹射流從噴嘴的所述至少一個出口噴射到工具和工件表面上的裝置。

在第四個實施方案的變化方案中，噴嘴的下游部分具有至少一個分散壁和至少一個用於收斂膨脹射流的收斂壁。在該變化方案的改動中，所述至少一個分散壁具有分散角，並且所述至少一個收斂壁具有小於分散角的收斂角。在另外一個改動中，分散壁對環境大氣敞開。

另外一個實施方案是改善用切削工具加工的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的設備。這個實施方案包括多個元件。前三個元件與上述設備的第四個實施方案的前三個元件相同。第四個元件是將凝聚相部分和蒸汽部分的至少一部分膨脹射流從噴嘴的所述至少一個出口噴射到切削工具和工件表面上的裝置，其中噴嘴的下游部分

具有至少一個向環境大氣敞開的分散壁和至少一個用於收斂膨脹射流的收斂壁，並且其中該至少一個分散壁具有分散角，並且該至少一個收斂壁具有小於分散角的收斂角。

本發明的另外一個方面是形成或成形一種具有表面硬度的工件的設備。這種設備的第一個實施方案包括多個元件。第一個元件是在工件附近的工具，該工具用於形成或成形工件。第二個元件是用該工具形成或成形工件的裝置。第三個元件是在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度的裝置。

本發明的另外一個方面是通過上述設備所形成或成形的工件，該工件的特徵在於具有改善的表面光潔度、改善的表面完整性、或同時具有改善的表面光潔度和改善的表面完整性。本發明這一個方面有幾個變化方案。

在一個變化方案中，工件具有加工表面粗糙度（Ra），其中該加工表面粗糙度（Ra）等於或小於理論粗糙度下限（Ra-t），按照 $Ra-t = f^2/(32r)$ 計算，其中 f 是切削工具的饋送率，而 r 是切削工具刀尖半徑。

在另外一個變化方案中，工件具有形成或成形的加工表面，該加工表面特徵在於具有改善的殘餘應力，所述改善的殘餘應力比由形成或成形工件而沒有在工件的形成或成形過程中使用增加工件表面硬度的裝置所獲得的另外一種殘餘應力壓縮更大、延伸更深、或壓縮更大並且延伸更深。

在還有另外一個變化方案中，工件包含具有選自鈷

(Co)、鉻(Cr)、鉬(Mo)、鎳(Ni)、鐵(Fe)、鎢(W)、鋁(Al)、鈦(Ti)、鉭(Ta)、鈮(Nb)和釩(V)中的至少一種元素的金屬合金。

該工件還有其他的變化方案。在一個這樣的變化方案中，至少一部分工件的形式選自鑄造形式、鍛造形式、粉末冶金形式和複合材料形式。在另外一個變化方案中，工件包含至少一種聚合物或至少一種聚合物基的複合材料。在還有一個變化方案中，工件具有形成或成形的加工表面，該加工表面特徵在於具有改善的疲勞強度、改善的疲勞壽命、改善的耐應力裂紋性能和改善的耐腐蝕性能中的至少一種。

另外一個實施方案是加工具有表面硬度的工件的設備，包括多個元件。第一元件是在工件附近的切削工具，切削工具用於成形工件。第二元件是用切削工具成形工件的裝置。第三元件是在用切削工具成形工件的過程中增加工件表面硬度的裝置，其中成形的工件特徵在於具有改善的表面光潔度，其表面粗糙度(Ra)等於或小於理論粗糙度下限(Ra-t)，按照 $Ra-t = f^2/(32r)$ 計算，其中 f 是切削工具的饋送率，而 r 是切削工具刀尖半徑。

本發明另外一個方面是從具有表面硬度的工件製造成品零件或成品的設備。該設備的一個實施方案包括多個元件。第一個元件是在工件附近的工具，該工具用於形成或成形工件。第二個元件是用工具形成或成形工件的裝置。第三元件是在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面

硬度的裝置。第四元件是由用工具形成或成形的工件製造成品零件或成品的裝置。

在這個裝置的一個變化方案中，由工件製造成品零件或成品無需使用由至少一種其他設備製造類似成品零件和類似成品所需要的至少一個額外操作，其他設備由具有類似表面硬度的類似工件形成或成形類似成品零件或類似成品而在類似工件的形成或成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度，所述的至少一種額外操作選自研磨、拋光、搪磨、修邊、輕敲處理、滾磨、磨光、深滾壓、軟退火、軟機械加工、軟成形、軟形成和加工零件的清洗。

本發明的另外一個方面是由上述設備製造的成品零件或成品，並且特徵在於具有減少的製造成本。所述減少的製造成本小於由至少一種其他設備製造類似成品零件或類似成品所需的高製造成本，該至少一種其他設備形成或成形具有類似表面硬度的類似工件而在類似工件的形成或成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度。

從具有表面硬度的工件製造成品零件的設備的另外一個實施方案包括多個元件。第一個元件是在工件附近的切削工具，切削工具用於成形工件。第二個元件是用切削工具成形工件的裝置。第三個元件是在用切削工具成形工件的過程中增加工件表面硬度的裝置。第四個元件是從用切削工具形成或成形的工件製造成品零件的裝置，其中從工件製造成品零件無需使用由至少一種其他設備製造類似成品零件所需要的至少一個額外操作，其他設備從具有類似

表面硬度的類似工件成形類似成品零件而在類似工件的成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度，所述的至少一種額外操作選自研磨、拋光、搪磨、修邊、輕敲處理、滾磨、磨光、深滾壓、軟退火、軟機械加工、軟成形、軟形成和加工零件的清洗。

本發明的另外一個方面是將冷凍劑的膨脹射流噴射到工件上的噴嘴。噴嘴的第一個實施方案包括多個元件。第一個元件是用於接收冷凍劑流的至少一個進口。第二個元件是與所述至少一個進口流體連通的上游部分，該上游部分用於接收至少一部分來自於所述至少一個進口的冷凍劑流。第三個元件是與上游部分流體連通並且用於接收至少一部分來自於上游部分的冷凍劑流的下游部分。第四個元件是與下游部分流體連通並且用於接收並且發射至少一部分來自於下游部分的冷凍劑流的至少一個出口。第五個元件是在噴嘴的下游部分內將冷凍劑至少部分分離成凝聚相部分和蒸汽部分的裝置。

噴嘴的第二個實施方案除了包括一個用於限制冷凍劑的膨脹射流的內部膨脹室以外與第一個實施方案相似，其中噴嘴用於夾住具有工具前刀面表面的切削工具。

本發明第一個實施方案具有幾個變化方案。在一個變化方案中，噴嘴的下游部分具有至少一個分散壁和至少一個用於收斂冷凍劑的膨脹射流的收斂壁。在該變化方案的改動中，所述至少一個分散壁具有分散角，並且所述至少一個收斂壁具有小於分散角的收斂角。在另外一種改動

中，分散壁對環境大氣敞開。

另外一個實施方案是將冷凍劑的膨脹射流噴射到工件表面上的噴嘴。這個實施方案包括多個元件。這個實施方案的前五個元件與噴嘴的第一個實施方案的前五個元件相同。第六個元件是用於限制冷凍劑的膨脹射流的內部膨脹室，其中噴嘴的下游部分具有至少一個向環境大氣敞開的分散壁和至少一個適合收斂冷凍劑膨脹射流的收斂壁，並且其中分散壁具有分散角並且收斂壁具有小於分散角的收斂角。其中噴嘴用於夾住具有工具前刀面表面的切削工具。

實施方式

本發明包括一種用於通過增加加工材料的硬度改善加工材料的表面光潔度、或減少表面粗糙度，和改善表面完整性、或增加壓縮殘餘表面應力的方法和設備。儘管本文中只討論有關用切削工具加工加工材料的內容，但是本領域普通技術人員可以認識到本發明有更寬廣的應用，並且可以應用于許多其他形成和成形方法，包括但不侷限於其他類型的加工、滾壓、彎曲、模鍛、壓型、拉伸等。

可以在加工和其他成形操作之前通過合適的熱處理、化學處理、或加工處理使加工材料硬化，包括但不侷限於相變硬化，例如馬氏體鋼的淬火回火、低溫淬火處理，如由 J.Y. Huang 等人舉的例子（*Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel*, Materials science and Engineering, A339, 2003, 第 241-244 頁）、擴散滲碳、滲氮、碳氮共滲、

烘焙、老化、鐳射上光、焊弧(GTAW)凝固硬化、聚合物交聯和紫外光固化、通過輕敲加工或滾壓進行的加工硬化、鍛造、冷擠壓和拉伸、冷壓、密實化或沖製，及其組合，以及為加工材料的類型選擇的其他通常使用的處理。應該理解：在創造性成形步驟之前可立即進行多種這些加工表面硬化操作，例如在精切削或形成工具接觸加工表面之前，在相同的工件裝置中、在相同的加工系統中、或在相同的自動連續生產線上進行。能在成形工具之前容易地採用的硬化操作的實例是由 Kumar 等人(US6,454,877B1)教導的在含碳的氣流中進行的表面感應硬化和鐳射處理。

可以使加工材料與液態、氣態或固態的冷凍劑接觸實現冷凍冷卻。優選的惰性冷凍流體在 1 大氣壓力下沸騰的溫度比水的凝固點低的多，其包括液態氮、液態氫、液態二氧化碳和液態氬。然而，本領域普通技術人員可認識到：其他液態、氣態和固態顆粒的冷凍混合物也能用作冷凍劑。

優選的冷凍冷卻方法應該是高度定位並產生短暫的硬化效果。通過冷凍流體的噴射或噴霧，不需要冷凍整個工件，冷凍整個工件是昂貴的並且不實用。當希望使成品比加工所使用的原料更硬時，可以使用本發明的硬化表面處理技術，而如果希望在加工之後保留初始材料硬度，則可以使用冷凍冷卻方法。同樣，在加工操作之前通過表面處理，以及在加工操作過程中通過冷凍冷卻，使加工材料硬化，以便使所加工零件的表面光潔度和表面完整性達最大。

本發明的另外一個方面是將冷凍流體噴射到切削工

具、或另外一種成形或形成工具和工件表面上的優化方法，該方法通過試差法進行開發以滿足某些冷卻和加工材料硬化要求同時使工具壽命最大化，從而增加製造生產率並減少製造成本，包括冷凍劑消耗的成本。同樣，開發了新型的低溫噴嘴，用於加工。因而，本發明包括一種清潔、成本效率高、加速的製造方法，其改善了所加工零件的表面光潔度和表面完整性（即使當零件是堅硬的）並且允許用戶省略多個製造步驟。

在申請人使用本發明精車削金屬、複合材料和聚合物加工材料的過程中進行各種觀察和發現。在下文中討論這些觀察和發現。

壓縮液氮（LIN）冷凍劑、或其他液態冷凍冷凍劑利用對準工具前刀面表面的噴嘴膨脹成 1 大氣壓力的射流，導致比用壓縮 LIN 接觸工具前刀面表面更有效的工具冷卻效果。儘管對於造成這種效果的精確冷卻機理不清楚，申請人認為：可用撞擊工具的減壓液滴的溫度更低來解釋。在 1 大氣壓壓力下 LIN 的正常溫度為 -320°F ，而壓縮到 120 磅/平方英寸的 LIN 的溫度為 -275°F （也就是高 45°F ）。申請人觀察到：當工具表面被快速移動的在不高於 1 個大氣壓壓力下的 LIN 射流和噴霧撞擊時，對工具的冷卻更有效。

圖 1A 說明本發明一個實施方案的側視圖，其中在 1 大氣壓壓力下，快速移動的冷凍流體射流 20 撞擊在工具前刀面表面 14 上。該構件包括切削工具 12（或鑲入式截坯刀）、工具前刀面表面 14、工具把柄 16、發出射流 20 的管

狀噴嘴 18 和工件 22。儘管最優選的方法是冷卻工具前刀面表面 14，但冷卻其他工具表面，如工具的大部分和小部分或後側面，同樣落在本發明的範圍內。

工具前刀面表面 14 是切削工具 12（或鑲入式截坯刀）的表面，它延伸到切削刀的後面並且仍然與從工件 22 切離的切屑保持接觸。（前刀面表面是切削刀附近的切削工具表面，它控制切屑離開工件的流動，前刀面表面可以是完全平坦的、刻槽的、或具有通過模制或添加板形成的更複雜的、三維外形，以增強控制切屑流動和/或切屑的斷裂）。

本文中使用的術語“切削工具”和“鑲入式截坯刀”是可互換的。鑲入式截坯刀是由硬質材料如 WC-Co、CBN、 Al_2O_3 、或 Si_3N_4 製造的帶指示盤的、可代替的切削工具，具有切削刀和前刀面表面，並且安裝在合適的工具把柄上。

圖 1B 和 1C 是圖 1A 所示實施方案的一些特徵，在下文中討論這些特徵。圖 1A 到 1C 中的箭頭表示工件 22 的旋轉方向、工具切割深度（d）、工具饋送率（f）和冷凍流體向噴嘴 18 的供應。

圖 1C 表示標記為 A 的噴霧撞擊面積。在工具前刀面表面 14 上增加噴霧撞擊面積（A）導致改善切削工具 12 的冷卻。然而，如果射流 20 穿過空氣，則增加前刀面表面和噴嘴 18 的出口之間的距離來增加噴霧撞擊面積反而降低冷卻效率。申請人認為：除了品質流量密度或撞擊密度下降以外，所觀察到的效果是空氣夾帶進入膨脹射和冷凍的小滴經過過多的飛行沸騰造成的。

將位於工具前刀面表面 14 法線平面中的射流撞擊角 (α) 從 0° (切線方向) 增加到 90° (法線方向) 導致明顯改善切削工具 12 的冷卻，因此，導致更長的工具壽命或更快的切削能力和/或能切削更硬的加工零件，切削更硬的加工零件產生更多熱量。圖 1A 表示相對於切削工具 12 的底部的撞擊角 (α)、工具把柄 16、工件 22 和管狀噴射噴嘴 18。對於有效切削硬質或硬化的工件必須使用大的撞擊角 (α)，並且角度的效果與工件硬度成比例。

增加位於工具前刀面表面 14 的平面中的射流散佈角 (β) 導致減小加工表面粗糙度。圖 1B 和 1C 說明相對於圓形切削工具 12 的底部的射流散佈角 (β)、工具把柄 16、工件 22 和管狀噴射噴嘴 18。圖 1C 所示的在工具前刀面表面的碰撞點或噴霧撞擊面積 A 和加工表面之間的距離 L 不重要，因為，飛濺的射流夾帶的空氣比以上討論的自由射流更少。重要的是：散佈角 (β) 足夠使飛濺的射流到達至少切削工具和工件之間的接觸的整個長度。接觸長度為圖 1C 中所示的點 b1 和 b2 之間。在圓形工具或工具在圓角的曲率上切削的情況下，這在精加工 (finishing) 操作中經常遇到，接觸長度 b1-b2 可以從圖 1B 到 1C 所示的切割深度 (d)、工具半徑 (r) 和工具饋送率 (f) 利用以下方程計算：

$$\overline{b1b2} = \frac{\pi r}{180} \left(a \cos \frac{r-d}{r} + a \cos \frac{\sqrt{4r^2 - f^2}}{2r} \right)$$

不希望受任何特別理論的束縛，申請人認為：足夠大

的散佈角 (β) 對加工表面光潔度的驚人的、理想的效果顯然與加工表面急劇冷卻和硬化、細小部分的急劇冷卻和硬化、加工材料切屑的尾端和切削工具後緣的初始幾何形狀的保持有關，該幾何形狀控制表面光潔度，但是如果沒有有效的冷凍冷卻會磨損更快。

增加散佈角 (β) 導致改善加工表面光潔度的程度與加工材料的初始硬度成反比。這與撞擊角 (α) 對工具壽命的影響相反，撞擊角 (α) 對工具壽命的影響與加工材料的初始硬度成正比。可理解地，不同形狀的工具（例如多邊形工具）也能用於根據本發明的加工操作，並且形成撞擊角 (α) 和散佈角 (β) 理想的數值。

只有當膨脹、冷凍流體射流至少部分限制在目標前刀面表面上時，或多或少精確控制撞擊角 (α) 和散佈角 (β) 才是實際的。這是因為從簡單的、無限制的噴嘴射出的自由膨脹的、無約束的冷凍射流在從高的供應壓力到大氣壓壓力減壓時有放射狀地加寬或成枝狀噴出 (bush-out) 的趨勢，這些噴嘴例如管狀和/或收斂的、或甚至是更精確射流、收斂-分散、具有圓形或多邊形橫截面的噴嘴。放射成枝狀的程度強烈依賴於進入噴嘴的冷凍流的溫度和相組成（汽相含量）。由於冷凍流的溫度和相組成難以避免波動，有益的是使用這樣的噴嘴，在噴嘴中膨脹的射流至少部分受限制。這樣改進的噴嘴同樣使沸騰的冷凍流體和工具前刀面表面之間的表面接觸面積或噴霧撞擊面積 (A) 最大化，並且防止壓力在沸騰區域積聚，也就是，維持在基本

上 1 大氣壓壓力。

圖 2B-2E 表示本發明使用限制性射流噴嘴 32 的實施方案。為了防止冷凍流體射流放射成枝狀 (bushing) 和夾帶熱的環境空氣 (一般對於由簡單噴嘴產生的自由膨脹的射流, 如圖 2A 所示), 本發明的噴嘴 32 (圖 2B-2E 所示) 使冷凍流體在拱頂形 30 內從高的供應壓力膨脹到大氣壓壓力, 拱頂形位於工具前刀面表面 14 正上方。

圖 2B 說明流體射流限制的原則。在噴嘴 32 的下游部分內進行膨脹和減壓過程中, 冷凍射流分離成氣相部分和凝聚相部分, 凝聚相部分一般為液流, 如圖 2B 所示。在一些情況下, 凝聚相部分可包括精細的冰粒或冷凍的冰凌, 如在膨脹冷二氧化碳 (CO_2) 氣體或液體的情況。由於較高的密度和慣性, 凝聚相部分設法沿著原始軸連續膨脹而不偏斜並且沿著收斂壁 34 連續膨脹。收斂壁相對於原始軸的收斂角 36, 如圖 2B 所示, 必須小於分散壁 42 的分散角 40, 以確保所需要的流體減壓和射流膨脹。

典型地, 收斂壁 34 的初始角可以在 0° 到 60° 之間變化, 但是在下游位置處收斂壁的曲率可增加, 並且收斂壁最終的收斂角 36 相對於初始軸可以大到 90° 。正是這種收斂壁的最終收斂角確定了射流撞擊角 (α) 和工具冷卻效果。越陡峭越好。

典型地, 分散角 40 相對於初始軸可在 30° 到 175° 之間變化, 取決於其他噴嘴設計因素, 限制條件是分散角總是比收斂角 36 大。這樣選擇壁角度的最終結果是能從凝聚相

部分（例如液體）分離氣相部分，並且使凝聚相部分在所需方向所需角度下膨脹。該結果相當重要，因為所分離的凝聚相部分（例如液體）在冷卻方面明顯比氣相部分更有效。

圖 2C 說明根據上述原則設計的限制噴嘴 32 的操作，並指出冷凍劑在位於工具前刀面表面 14 正上方的拱頂形 30 或噴嘴腔內從高的供應壓力膨脹到大氣壓（1atm）壓力。拱形等的下緣和前刀面表面之間的間隙足以防止拱頂形內不希望有的壓力積聚。拱頂形下緣的前側，與工件 22 相對，可以切開或開槽，以便在最需要的方向射出主要部分的冷凍劑。選擇一個或多個前槽的形狀和大小以獲得所需的散佈角（ β ）值。可以選擇拱頂形的高度和內部曲率以產生所需要的射流撞擊角（ α ）。而且，可通過擴大拱頂形的底部尺寸方便地使噴霧撞擊面積或接觸面積（A）最大化。

當噴射基於液體的冷凍流時，在拱頂形 30 內的壓縮冷凍劑的膨脹產生顯著更冷的液體和氣相。由於明顯較高的密度，液相被位於上游的收縮孔定位在原始方向連續膨脹，並且轉向拱頂形內壁。因此，液相以與拱頂形曲率的切線的角度相同的角度撞擊在工具前刀面表面 14 上。因而，撞擊角（ α ）可以方便地通過拱頂形的曲率和高度設置，並且使撞擊角（ α ）比所說的 30° 、或甚至 80° 更陡峭，因此不困難。

當冷凍流體的液體部分在拱頂形 30 的內部曲率上膨脹並且通過前槽離開拱頂形，氣相（密度比液體低）被壓

回工具前刀面表面 14 以及拱頂形的下緣和前刀面表面之間的間隙。本發明的噴嘴 32 本質上是離心式相分離設備，它對切削工具最熱的部分射出最冷的液相，並且通過拱頂形的底側除去冷的氣相。

圖 2D 和 2E 表示本發明噴嘴 32 的兩種可能結構的俯視圖，其中拱頂形 30 的前部可用球面曲率、或平直曲線壁終止，以產生對液態冷凍流體或多或少的限制。位於上游的收縮孔形狀可以相應於拱頂形前部的形狀：對於球形曲線拱頂形為圓形，對於平直曲線拱頂形為狹縫形狀。

本發明噴嘴 32 適合真實的車床加工環境，其中從所加工表面上展開的切屑傾向於在常規的冷凍劑噴嘴前部糾纏、碰撞或堵塞。噴嘴的緊湊設計允許將它固定在維持鑲入式截坯刀的常規夾具的尾部，或噴嘴的背面縛上固定螺栓，使它同時成為鑲入式夾具和冷凍劑噴嘴。

申請人觀察到：在切削工具的有效壽命內增加加工材料硬度會減小所加工表面的加工粗糙度，這是所希望的，但是這往往會縮短切削工具的有效壽命，這是不希望的。表面粗糙度是表面光潔度最流行的測量方法，並且希望在精加工操作中使表面光潔度最大化或使粗糙度最小化。當在車削中的表面粗糙度減小到研磨操作中典型的下限值時，有可能省略研磨步驟，並且縮短整個製造過程，從而產生顯著的節約。製造工業面臨的挑戰是改善表面光潔度而不降低切削工具的壽命，因為降低切削工具壽命導致增加生產成本和不良的產品率。如果冷凍流體撞擊角 (α) 足

夠陡峭，則在切削硬質材料過程中工具壽命短的問題可以減少。

增加表面光潔度（例如減小粗糙度）和表面完整性（例如增加可壓縮應力）的加工表面硬化可以是永久的或暫時的，只要在材料表面是冷卻的時候維持表面硬化，並且只要在加工操作過程中表面硬化有效。加工表面的永久的預硬化包括熱處理、擴散滲碳、滲氮、聚合物交聯等。如申請人觀察的：如果相同的加工材料在加工之前通過永久性處理硬化，則產生更好的表面光潔度。這是一個不包括增加散佈角（ β ）而改善表面光潔度的備用方法。

然而，預硬化加工材料與在加工過程中利用在足夠大的散佈角（ β ）下噴射冷凍劑進行額外的硬化相互結合經常導致進一步改善表面光潔度。申請人觀察到：如果在已經預硬化的加工材料上（例如通過淬火和回火或滲碳進行硬化的鋼）使用冷凍急劇冷卻，則所加工的表面粗糙度落在常規計算的理論粗糙度（ R_{a-t} ）極限的右側，並且如果切削工具尾端形狀正確，則所加工的表面粗糙度甚至落在常規的極限（ R_{a-t} ）之下。

在車削中理想的數學平均表面粗糙度（AA）或常規的 R_{a-t} 極限通常從工具饋送率（ f ）和工具刀尖半徑（ r ）利用以下方程計算：

$$R_{a-t} = \frac{f^2}{32r}$$

從 C. Feng, *An Experimental Study of the Impact of*

Turning Parameters on Surface Roughness, 論文 No.2036, 2001 年 Industrial Engineering Research Conference of the Institute of Industrial Engineers (2001)的會議錄。

儘管該計算方法被廣泛接收，但這種計算方法僅僅是近似的，因為車削工具的工具幾何形狀和饋送率只允許精確計算最大的峰-穀粗糙度 (R_t)，而 $R_t/R_{a-t} = m$ 是對一般的車削條件進行的簡單估計。即使申請人在精車削中的實驗工作表明比例 (m) 可以在 3.6 到 7.8 之間變化 (參見 C. Feng)，在本文中申請人使用運算式 R_{a-t} 和 $m=4$ 作為車削中的理想數學平均表面粗糙度的標準極限 (AA)

$$R_t = \frac{f^2}{8r} \quad \text{和} \quad R_{a-t} = R_t / m$$

在申請人使用本發明精車削金屬、複合材料和聚合物加工材料的過程中的各種觀察和發現可以綜合成以下五個定性的方程，其中： R_a —所加工表面的數學平均表面粗糙度、 H —在切削操作過程中加工材料的硬度、 t —切削工具的壽命、 α —噴嘴控制的冷凍射流撞擊角、 A —噴嘴控制的被沸騰的冷凍流體衝擊的工具前刀面表面的面積， H_0 —加工材料的初始硬度、 ΔH_p —由任選的預硬化步驟導致的加工材料硬度的增加量、 β —噴嘴控制的冷凍射流散佈角、 f —在切削過程中工具饋送率、 r —工具刀尖半徑、 R_{a-t} —圓形切削刃的理論粗糙度極限、 n 和 m —可以從樣品的加工測試中確定的大於零的常數、和符號“ $\sim$ ”是指成比例。

$$R_a \sim \frac{f^2}{mrH} \quad \text{和} \quad t \sim \frac{\alpha}{H} \cdot A \quad \text{和}$$

$$H \sim H_0 + \Delta H_p + n \cdot \frac{\beta}{H_0 + \Delta H_p}$$

因此

$$R_a \sim \frac{f^2}{m \cdot r \cdot \left(H_0 + \Delta H_p + n \cdot \frac{\beta}{H_0 + \Delta H_p} \right)}$$

$$\text{和 } t \sim \frac{\alpha \cdot A}{H_0 + \Delta H_p + n \cdot \frac{\beta}{H_0 + \Delta H_p}}$$

實施例 1：

在各種流速和供應壓力下評估冷凍射流撞擊角 (α) 對冷卻鑲入式截坯刀的效果。使用兩個如圖 2A 所示的簡單的、管狀噴嘴噴射液氮 (LIN) 冷凍劑。使噴嘴的內部末端形成收斂-分散 (CD)、Laval 型流體通道，它能使膨脹的冷凍流體比直壁或只有收斂的流體通道更加精確地集中。第一 CD 噴嘴咽喉的最窄部分的直徑是 0.019 英寸，而第二個 CD 噴嘴的直徑是 0.025 英寸。在供應壓力為 120 磅/平方英寸時，較小的噴嘴噴射 1.1 磅/分鐘的 LIN，而較大的噴嘴噴射 1.8 磅/分鐘的 LIN。用較大的噴嘴在減小的供應壓力 60 磅/平方英寸下進行額外的試驗，表明膨脹流體更受限制或分枝 (bushy) 更少，並且流速為 1.2 磅/分鐘 LIN。

由每一個噴嘴產生的 LIN 射流對準一般在精加工操作中使用的鑲入式截坯刀的前刀面：由相對非導電的

Al_2O_3 -TiN 陶瓷複合材料製造的 CNGA/CNMG-432 (ISO)。

在每一個噴嘴的出口與前刀面表面之間的軸線距離保持為常數 0.5 英寸。在每一種噴射條件下評估兩個撞擊角 (α): 40° 和 85° 。將微型熱電偶放置在鑲入處正下方、切削刀尖下，以便在 LIN 噴射的前兩分鐘監測溫度從室溫的變化。繪於圖 3 的測試結果表明：陡峭射流撞擊角 ($\alpha = 85^\circ$) 對於快速有效冷卻鑲入式截坯刀是最重要的因素。在膨脹過程中射流成枝狀 (bushing) 的影響不重要但是不能忽略—更多限制，60 磅/平方英寸的射流比 120 磅/平方英寸的射流更有效。最令人吃驚的是，發現 LIN 流速的影響是三個因素中最不重要的，這說明最節省成本的冷凍流體射流冷卻方法必須優化撞擊角 (α) 和其限制而不是簡單地使流速最大化。

在精車削操作中用其他常用的鑲入式截坯刀重新測試：由導熱立方型氮化硼 (CBN) 切削刀銅焊到導電 WC-Co 碳化物把柄上所製造的 CNGA/CNMG-432。在陡峭射流撞擊角 ($\alpha = 85^\circ$) 下，發現冷卻速率與非導電陶瓷插入物相同；CBN/WC-Co 的冷卻速率只是比以前和在較低的撞擊角 ($\alpha = 40^\circ$) 下有所提高。因此，再次發現控制射流撞擊角 (α) 對於冷卻切削工具的刀尖是重要的，這對於硬質加工材料的有效和快速切削是必須的。

實施例 2：

將鐵、石墨、銅和鎳粉末預混以獲得 FN-0208 (MPIF

類) 組合物 (0.8-0.9% C、0.8% Ni、2.0% Cu、餘量 Fe，均是基於重量計)，壓成粉末冶金 (P/M) 圓盤，並且燒結獲得兩個不同密度水準： 6.67g/cm^3 (6.67Mg/m^3)，‘低密度’材料，14.5% 的孔隙率，和 7.20g/cm^3 (7.20Mg/m^3)，‘高密度’材料，7.7% 的孔隙率。每一種密度的一半圓盤隨後通過使用常規步驟進行熱處理硬化，以獲得高的表觀硬度——在低密度材料的情況下至少為 30HRC，而在高密度材料的情況下至少為 40HRC。

如此製備的 P/M 圓盤的表面加工在 20kW 的 CNC 車床上進行，恒速操作，使用如下參數：(1) 切削速度—1,000 英尺/分鐘 (305 米/分鐘或 5.08 米/秒)；(2) 饋送率—0.007 英寸/轉 (0.178 毫米/轉)；和 (3) 切削深度—0.008 英寸 (0.203 毫米)。使用“低含量”、市售的、未塗覆的 PCBN 鑲入式截坯刀，具有 2 個切削刀的 BN250 (通常，銅焊尖端類型)。鑲入部分和刀刀的幾何形狀如下：CNMA-433、0.005 英寸的刀背寬 (0.127 毫米寬的斜面)， -20° 的倒角。鑲入部分固定在最常用類型的鋼工具把柄上，特徵為 -5° 的前刀面和 -5° 的傾角。在加工過程中使用切削流體冷卻的最常規的方法，包括沖洗 (flooding) 鑲入部分和 P/M 圓盤。在水中的 9 體積% 乳化油用作流體以 20 磅/平方英寸 (1.38 巴) 的供應壓力經過管道沖洗鑲入部分。

使用由 Taylor Hobson 公司提供的數學、Ra 粗糙度儀 Surtronic10 評估所加工的 P/M 圓盤的表面光潔度。材料硬度用常規微型硬度計測量 Vicker scale (kG/mm^2)。結果匯

於下表 1。表面粗糙度的降低（也就是表面光潔度隨著硬度的增加而改善）是顯然的，並且說明在加工之前的熱機械表面硬化對於超精加工是有效的措施。

表 1

P/M 材料條件	表觀硬度 HV	真實（顆粒） 硬度，HV	粗糙度，Ra，微 英寸
燒結/軟圓盤 低密度	99	186	44
燒結/軟圓盤 高密度	127	189	43
熱處理/硬化 圓盤，低密度	306	567	11
熱處理/硬化 圓盤，高密度	399	569	8

實施例 3：

來自於實施例 2 的燒結的、軟 P/M 圓盤利用液氮（LIN）冷凍射流冷卻並用圖 2C 和 2D 所示的具有內部膨脹室的工具夾噴嘴進行表面加工。在 LIN 品質流速為 1.8 磅/分鐘、供應壓力為 100 磅/平方英寸（6.89 巴）下，噴嘴產生的射流以等於 45° 的撞擊角（ α ）撞擊在前刀面上，並以等於 90° 的散佈角（ β ）散佈到各側。使用節省成本的、市售的、 Al_2O_3 -TiC 基、TiN 塗覆（PVD）的、細粒的黑色陶瓷鑲入式截坯刀，它有四個（4）切削刃，並且幾何形狀說明如下：CNGA-433、0.008 英寸刀背（0.200 毫米寬的斜面）、-25° 倒角。除了不同的鑲入部分和冷卻方法外，所有其他條件

均與實施例 2 相同。

表 2 比較了用沖洗和 LIN 加工的圓盤的加工表面粗糙度，和在平均工具側面磨損（ V_{b-ave} ）達到數值為 0.30 毫米之前的切削刃的壽命。清楚表明：加工材料和切削工具的 LIN 冷卻和硬化導致明顯改善的表面光潔度以及工具壽命。

圖 4 比較了用於切削軟的和預硬化零件的工具的壽命。工具壽命通常隨著材料硬度的增加而縮短，但是在加工硬質工件過程中 LIN 冷卻的工具的壽命仍然比在加工軟零件的過程使用常規的水沖洗冷卻的工具的壽命長。因而，從製造過程中完全省略軟加工的步驟，然後硬化加工表面，並使用 LIN 冷卻進行精車削，是節約成本的。

表 2

P/M 材料條件	冷卻方法	粗糙度， Ra，微英寸	切削刃壽命 切削的 P/M 圓盤數目
燒結/軟圓盤，低密度	沖洗	44	92
燒結/軟圓盤，低密度	LIN	24	337
燒結/軟圓盤，高密度	沖洗	43	94
燒結/軟圓盤，高密度	LIN	23	499

實施例 4：

冷凍射流散佈角（ β ）對表面光潔度的影響用加工材料硬度和塑性的函數進行評估。具有平均硬度為 44HRC 的醫用鈷-鉻合金、ASTM F 型（Co-Cr-Mo-Ni-Fe-Si-W-Al-Ti）

被用作中間硬度的稍微粘性的加工材料進行試驗。通用的軸承鋼，52100(1% C-1.5% Cr-0.35% Mn-0.20% Si-餘量 Fe) 通過淬火和低溫回火進行熱處理到硬度為 60HRC，作為硬質加工材料。兩種材料均用 20kW 的 CNC 車床進行切削，恒速操作並且使用相同類型的市售鑲入式截坯刀和工具把柄：便宜的、市售的、 Al_2O_3 -TiC 基、TiN 塗覆 (PVD)、細粒的黑色陶瓷鑲入式截坯刀 CNGA-432、0.004 英寸削角、 -20° 倒角、和 -5° 的前刀面 / -5° 的傾角工具把柄。每一加工材料的加工參數是不同的，如表 3 所示。

在加工兩種加工材料過程中，使用兩類工具夾具/內部膨脹室的噴嘴：第一，如圖 2D 所示，散佈角 (β) 為 90° ，第二，如圖 2E 所示，散佈角 (β) 為 25° 。對於兩種噴嘴，射流撞擊角 (α) 相同並等於 45° 。向每一個噴嘴提供壓力為 100 磅/平方英寸的 LIN，並且每一個噴嘴每分鐘噴霧 1.8 磅 LIN。

如前面的實施例，使用由 Taylor Hobson 公司提供的平均數學、Ra 粗糙度儀 Surtronic10 檢驗所加工零件的表面光潔度。形成的加工表面粗糙度 Ra，也稱為 AA 或 CLA 粗糙度，與從以下標準方程估算的理論表面粗糙度極限 Ra-t 進行比較： $\text{Ra-t} = f^2/(8mr)$ ，其中： f —工具的饋送率、 r —工具刀尖半徑、和 m —粗糙度轉換常數，對於本發明的表面光潔度切削操作而言假定為 3.9。以下表 3 的結果表明：

(1) 大的冷凍射流散佈角 (β) 改善加工表面光潔度，但它的效果與加工材料的硬度成反比；(2) 當使用理論粗糙

度極限 $Ra-t$ 評估光潔度時，越硬的和/或預硬化的加工材料產生更好的表面光潔度， $1/Ra$ ；和（3）預硬化加工材料和在切削過程中應用冷凍冷凍劑的硬化效果相互結合能產生加工表面粗糙度水準低於常規可接收的理論粗糙度極限， $Ra-t$ 。

表 3

加工材料	Co-Cr 合金		52100 軸承鋼	
表面硬度	44HRC		60HRC	
切削速度	900 英尺/分鐘		650 英尺/分鐘	
饋送率	0.002 英寸/轉		0.004 英寸/轉	
切削深度	0.005 英寸		0.008 英寸	
理論粗糙度極限， $Ra-t$	4.1 微英寸		16.4 微英寸	
使用的冷凍噴嘴的散佈角 β	90°	25°	90°	25°
測量的粗糙度 Ra ，微英寸	7.6	12.0	8.0	8.3
測量的粗糙度 Ra ，計為理論粗糙度極限， $Ra-t$ 的百分數	185%	293%	49%	51%

當與列於表 4 中的工業標準粗糙度水準比較時，可以充分正確評價表 3 所示的利用 LIN 硬化、以及在車削過程中 LIN 硬化與熱硬化結合產生的低粗糙度水準。因而，申請人的切削方法改善加工表面光潔度到可以省略常規研磨和精研操作的程度，並且大大降低生產精成品零件的成本。

表 4

加工表面光潔度的分類 (ASM HandbooK Desk Edition, 2001)				
分類	粗糙度, R		產生光潔度的典型方法	生產的近似相對成本
	Mm	μ in		
超精加工	0.10	4	研磨、微細磨、精研	40
拋光	0.20	8	研磨、細磨、精研	35
研磨	0.40	16	研磨、精研	25
修光	0.80	32	研磨、銑削	18
精細	1.60	63	銑削、研磨、鉸削、拉削	13
半精細	3.2	125	研磨、拉削、銑削、車削	9
中級	6.3	250	成型、銑削、車削	6
半粗糙	12.5	500	銑削、車削	4
粗糙	25	1000	車削	2
清除	50	2000	車削	1

實施例 5：

工具磨損和冷卻方法對表面光潔度的影響評估如圖 5 所示。除了在更高的溫度下回火以降低平均表面硬度到 54HRC 之外，加工材料是與實施例 3 相同的 52100 軸承鋼。切削速度從 650 英尺/分鐘增加到 750 英尺/分鐘，但是饋送率、切削深度、理論粗糙度極限 ($Ra-t$)、加工、和 LIN 供應方法與實施例 4 中在 52100 材料上使用的相同。LIN 射流撞擊角 (α) 和散佈角 (β) 分別為 45° 和 25° 。使用如實施例 2 中的沖洗方法進行類似的沖洗加工。結果顯示：即使 LIN 冷卻的工具的側面磨損小於沖洗的工具的側面磨

損，LIN 加工的材料表面粗糙度比沖洗冷卻的情況更低。由 LIN 冷卻的鑲入部分的強度保護切削刃，並且 LIN 低角度的散佈足夠改善硬質加工材料的表面光潔度。而且使用 LIN 的實際粗糙度落在理論極限 $Ra-t$ 之下。圖 5A 和 5B 表明：僅僅是側面磨損和工具刀尖變平不能解釋 LIN 降低粗糙度的效果。表 5 在相同的撞擊角 (α) 和散佈角 (β) 下將由 LIN 射流加工的較硬的鋼（見實施例 4）的表面光潔度與較軟的鋼（見圖 5B）進行比較。較硬的 52100 表面在稍微低的切削速度下加工，比其他的更光滑，表明切削刃附近的微塑性流加工材料和切屑的不同。這是額外的證據，證明在切削過程中的 LIN 射流冷卻、以及加工表面的預硬化是控制表面粗糙度的有效手段。

表 5

加工表面硬度	60HRC	54HRC
切削速度	650 英尺/分鐘	750 英尺/分鐘
測量的粗糙度， Ra ，微英寸	8.3	11
測量的粗糙度， Ra ，計為理論粗糙度極限， $Ra-t$ 的百分數	51%	67%

實施例 6：

25 體積 % 玻璃填充的尼龍複合材料樣品、以及由聚丙烯、高密度聚乙烯 (HDPE)、生 (cast) 丙烯酸和乙縮醛均聚物 Delrin[®] 製造的普通 (Plain) 聚合物樣品被製備用於使用本發明的 LIN 表面硬化方法進行的拋光端銑削

(end-milling) 和通孔鑽孔測試。(Delrin[®] 是 E.I. Du Pont De Nemours and Company 的註冊商標)。從距離為 0.5 英寸處利用簡單的、但是精確噴射的、終端具有 CD 孔的管狀噴嘴將 LIN 射流以陡峭的撞擊角 (α) 75° 撞擊在工具加工表面接觸區或其周圍。在通孔鑽孔的情況下，第二股 LIN 射流撞擊在鑽頭的出口側的加工材料表面上。結果顯示：LIN 硬化明顯減少一般在加工過程中的聚合物表面上形成的纖維毛刺 (burrs)。在通孔鑽孔的情況下，同樣通過使在鑽頭鏟子的前部進入出口壁處的材料塑性斷裂最小化除去出口側的毛刺。當與常規的幹法加工步驟比較時，整體加工表面的改善特別重要。所觀察到的改進能使加工操作省略後續的清除毛刺步驟並且不需要常規的、污染聚合物零件表面的潤滑沖洗冷卻和額外的清洗步驟。

實施例 7：

在合金鋼環的外徑、最終的硬質車削過程中，評估冷凍冷卻對加工表面完整性，更具體地對殘餘應力分佈，的效果。該環是由淬火並回火到硬度為 63HRC 的 M50 級鋼 (0.85% C-4.1% Cr-4.2% Mo-1% V-餘量 Fe，基於重量) 製造的。所使用的車床和工具把柄與實施例 2-5 中的相同。所有下述測試的整個過程中使用一種工具饋送率 0.003 英寸/轉。

第一個測試，測試 A，使用如實施例 2 中詳細描述的常規沖洗冷卻，並使用昂貴的、市售的、CBN 鑲入式截坯

刀 CNGA-432 KB5625。測試 A 中選擇的工具、冷卻方法和切削速度是最典型的、標準的工業加工條件，這些條件是近年來通過試差法並用來針對所生成的殘餘應力優化工具壽命（例如工具成本和生產率）而發展起來的，殘餘應力應該是高度壓縮的，但當工具磨損或速度更高時，可以變得更加可伸展。接著的三個測試，B、C 和 D 使用如實施例 4 中詳細描述的便宜的、 Al_2O_3 -TiC 基鑲入式截坯刀。測試 B-D 選擇的切削速度比常規測試高 3.7 倍，其中切削速度相應於生產率，測試 A 表示常規測試。

表 6 是所有四個測試中使用的關鍵條件和冷卻方法。每一個使用 LIN 作為冷卻介質的冷凍測試以及限制射流噴嘴類型在圖 2E 中表示。在該噴嘴中的限制孔的形狀為矩形，尺寸為 (0.08 ± 0.010) 英寸 $\times$ (0.025 ± 0.010) 英寸。撞擊角 (α) 比較陡峭 (65°) 而散佈角 (β) 窄 (25°)，以便使工具加工接觸弧整個長度上的工具冷卻效果達最大。在測試 C 和 D 中通過同時使用第二個噴嘴對加工材料進行額外的冷卻和硬化，第二個噴嘴是具有限制孔（咽喉）直徑為 0.035 ± 0.005 英寸的簡單 CD 噴嘴。第二噴嘴對準鑲入部分前刀面和接觸長度尾端的切削刀，也就是，由第一個限制射流噴嘴形成的 LIN 射流的軸下游。

使用標準 X 射線衍射方法測量在目前條件下所加工的環的殘餘應力，該方法是基於晶格間距的變化，如 G. Totten 等人編的 “Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel” 所述，ASM International，Ohio，2002，第 112-113

頁。使用重複、步進式 X 射線測量和電蝕刻所測試的材料
的薄層的額外步驟，以便確定材料表面以下較深處的應力
分佈。在製造工業中通常使用的步進式步驟，由 E. Brinks
等人描述在出版物“Residual Stresses-Measurement and
Causes in Machining Processes”中，Annals of the CIRP, 卷
31/2/1982，第 491-510 頁。殘餘應力分佈的 X 射線測量結
果繪於圖 6。

表 6

測 試	切削速度 (英尺/分 鐘)	切削深度 (英寸)	冷卻方法	所使用的冷凍噴嘴類型	備註
A	350	0.010	28 磅/平方英 寸背壓沖洗 的乳液	無	加工產生 低的熱量 輸入
B	1300	0.010	100 磅/平方 英寸背壓射 出的 LIN	圖 2E 所示的限制射流噴嘴	加工產生 高的熱量 輸入
C	1300	0.015	100 磅/平方 英寸背壓射 出的 LIN	使用兩個噴嘴：[1]圖 2E 所 示的限制射流噴嘴和[2]圖 2A 所示的 CD 噴嘴	加工產生 最高的熱 量輸入
D	1300	0.010	100 磅/平方 英寸背壓射 出的 LIN	使用兩個噴嘴：[1]圖 2E 所 示的限制射流噴嘴和[2]圖 2A 所示 CD 噴嘴	加工產生 高的熱量 輸入

圖表說明：在所有四種情況下殘餘應力是壓縮的，但
是使用冷凍冷卻使表面壓縮的程度和深度明顯增加到壓縮

應力能滲透所處理的材料。測試 C 和測試 D 獲得最佳效果，它們均使用最冷和最硬、雙噴嘴佈置。測試 C 導致壓縮應力比測試 D 稍微低些，因為其切削深度高 50%，也就是，進入材料的熱量、或材料軟化的程度更高。通過維持加工表面和工具材料冷卻和硬化，所公開的冷凍方法和設備能使用比較便宜的工具，該工具能比常規的、CBN 工具更快地切削並更有效率地工作。而且，儘管增加切削速度，所公開的冷凍方法增加壓縮殘餘應力（也就是表面完整性），因而減少對額外的下游操作的需要，下游操作如張應力表面的拋光、輕敲處理、滾光、磨光、深滾壓和常規用於在所加工和形成的零件上恢復壓縮應力的類似製造步驟。

本發明產生加工表面，特徵在於獲得改善的表面光潔度和表面完整性而不縮短切削工具的壽命。這使製造工業省略一些上游和/或下游製造步驟，例如軟粗磨、研磨/拋光、輕敲處理、磨光和修邊。同樣，當本發明在冷凍加工中使用時，允許用戶省略清洗步驟。總言之，本發明具有更快生產零件、單位成本更低並且使用更少資金的能力。

本領域普通技術人員應該認識到：本發明在許多工業部門包括機械、採礦、能源、交通、電氣、電子、光學和醫療用品和設備製造中能改善產品品質並減少生產成本。根據本發明能夠製造的部件的實例包括金屬板、帶、擠壓件、成形件和模鍛件、模鍛工具、沖模、模具、鑽頭、輥子、軸、軸承、軸襯、錠子、環、圓筒、閥、緊固件、連

接件、輪、齒輪、刀刀、量規和其他測量儀器、電極、吸熱設備、微晶片包、濺射靶、模罩、鐳射鏡和其他光學部件、醫用植入物和儀器、以及各種器件、尺寸精確一致的塑性和複合部件。

儘管本文參考一些特定的實施方案進行了說明和描述，然而本發明並不受所示細節的限制。而是，在權利要求書的等同方案的範圍內在細節上可以做各種修改，而不脫離本發明的精神。

圖式簡單說明

本發明將結合附圖通過舉例方法進行說明，其中：

圖 1 (1A、1B 和 1C) 表示冷凍流體撞擊在切削工具和工件表面上的主要參數：撞擊角 (α)、散佈角 (β)、工具饋送率 (f)、切割深度 (d)、與加工材料接觸的工具曲率半徑 (r)、撞擊面積 (A) 和撞擊面積中心到加工零件表面之間的距離 (L)，並且更具體地說，

圖 1A 是說明本發明一個實施方案的側視圖的示意圖，其中冷凍流體射流以撞擊角 (α) 撞擊在工具前刀面表面；

圖 1B 是說明本發明一個實施方案的俯視圖的示意圖，其中冷凍流體射流濺在工具表面然後以散佈角 (β) 撞擊在工件表面；

圖 1C 是說明本發明一個實施方案的俯視圖的示意圖，其中冷凍流體射流在與工件加工表面相距 L 處的切削

工具的前刀面表面上形成撞擊點 A；

圖 2 (2A-2E) 說明使用自由射流和限制射流的噴嘴將冷凍流體射流撞擊在工具和加工表面上的設備和方法，並且更具體地說，

圖 2A 是說明本發明實施方案中使用一種夾帶有環境大氣如空氣的自由膨脹的冷凍流體的側視圖的示意圖；

圖 2B 是說明圖 2C 所述的本發明實施方案的噴嘴下游部分的側視圖的示意圖；

圖 2C 是說明使用本發明的拱頂形的、限制射流的噴嘴的本發明實施方案的側視圖的示意圖，其中該噴嘴以橫截面顯示，位於前刀面表面上，其中冷凍流體射流以撞擊角 (α) 撞擊在前刀面表面上；

圖 2D 是說明使用本發明的圓形的、拱頂形的、限制射流的噴嘴的本發明實施方案的俯視圖的示意圖，其中該噴嘴以橫截面顯示，位於前刀面表面上，其中冷凍流體射流以散佈角 (β) 撞擊在工件表面上；

圖 2E 是說明使用本發明的矩形的、拱頂形的、限制射流的噴嘴的本發明實施方案的俯視圖的示意圖，其中該噴嘴以橫截面顯示，位於前刀面表面上，其中冷凍流體射流以撞擊面積 A 接觸前刀面表面；

圖 3 是表示冷凍流體的撞擊角 (α)、供應壓力和流速對鑲入式截坯刀工具冷卻速度的影響圖；

圖 4 是表示冷卻方法對切削燒結和預硬化鐵基粉末冶金工件的工具壽命的影響圖；

圖 5 (5A 和 5B) 說明本發明在預硬化的軸承鋼 52100 級的精車削過程中的兩個方面，並且更具體地說，

圖 5A 表示冷卻方法對工具磨損的影響圖；

圖 5B 表示在整個工具壽命中加工表面粗糙度的圖；

圖 6 表示在精車削過程中使用的冷卻方法對預硬化鋼 M50 級的表面的殘餘應力分佈的影響圖。

五、中文發明摘要：

改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和/或表面完整性的方法和設備在形成或成形工件過程中增加工件表面硬度。形成或成形工件的方法和設備同樣在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度，從工件製造成品零件或成品的方法和設備也是如此。在一些實施方案中，可將冷凍劑的膨脹射流從噴嘴噴射到工件表面和工具上，其中冷凍劑在噴嘴的下游部分內至少部分分離成凝聚相部分和蒸汽部分。

六、英文發明摘要：

A method and apparatus for improving the surface finish and/or surface integrity of a workpiece formed or shaped with a tool increase the surface hardness of the workpiece during forming or shaping of the workpiece. A method and apparatus forming or shaping a workpiece also increase the surface hardness of the workpiece during forming or shaping of the workpiece with a tool, as do a method and apparatus for manufacturing a finished part or product from a workpiece. In some embodiments, an expanding jet of cryogen may be jetted to a surface of a workpiece and a tool from a nozzle, wherein the cryogen is at least partially separated into a condensed phase portion and a vapor portion within a downstream portion of the nozzle.

十、申請專利範圍：

1、一種改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的方法，該工件具有表面硬度，該方法包括在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度。

2、如申請專利範圍第 1 項的方法，其中通過用冷凍流體冷卻工具的至少一部分、或工件的至少一部分、或工具的至少一部分和工件的至少一部分來增加工件表面硬度。

3、如申請專利範圍第 2 項的方法，其中冷凍流體的射流撞擊在工具的一部分和工件表面的一部分上

4、如申請專利範圍第 3 項的方法，其中冷凍流體的射流以大於 0° 並小於 90° 的撞擊角 (α) 撞擊在工具的一部分上。

5、如申請專利範圍第 3 項的方法，其中冷凍流體的射流以大於 30° 並小於 90° 的撞擊角 (α) 撞擊在工具的一部分上。

6、如申請專利範圍第 3 項的方法，其中冷凍流體的射流以大於 0° 並小於 180° 的散佈角 (β) 撞擊在工件的表面上。

7、一種改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的方法，該工件具有表面硬度，該方法包括在用工具形成或成形工件之前、用工具形成或成形工件的過程中、或用工具形成或成形工件過程之前和過程之中，增加工件表面硬度。

8、如申請專利範圍第 7 項的方法，其中通過熱處理、化學處理和機械處理中的至少一種增加工件表面硬度。

9、一種改善用切削工具加工的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的方法，該工件具有表面硬度，該方法包括在用切削工具加工工件過程中增加工件表面硬度，其中通過用冷凍流體冷卻切削工具的至少一部分和工件的至少一部分來增加工件表面硬度，並且冷凍流體的射流以大於 0° 並小於 90° 的撞擊角 (α) 撞擊在切削工具的一部分上，而冷凍流體的射流以大於 0° 並小於 180° 的散佈角 (β) 撞擊在工件的表面上。

10、一種改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的方法，其包括步驟：

提供冷凍劑的供應；

在工件附近提供噴嘴，噴嘴包括：

用於接收冷凍劑流的至少一個進口；

與所述至少一個進口流體連通的上游部分，該上游部分用於接收至少一部分來自於所述至少一個進口的冷凍劑流；

與上游部分流體連通並且用於接收至少一部分來自於上游部分的冷凍劑流的下游部分；和

與下游部分流體連通並且用於接收並且發射至少一部分來自於下游部分的冷凍劑流的至少一個出口；

將一部分冷凍劑送到噴嘴的所述至少一個進口，其中冷凍劑在噴嘴的下游部分內至少部分分離成凝聚相部分和蒸汽部分；和

將凝聚相部分和蒸汽部分的至少一部分膨脹射流從噴嘴的所述至少一個出口噴射到工具和工件表面上。

11、如申請專利範圍第 10 項的方法，其中噴嘴的下游部分具有至少一個分散壁和至少一個用於收斂膨脹射流的收斂壁。

12、如申請專利範圍第 11 項的方法，其中所述至少一個分散壁具有分散角，並且所述至少一個收斂壁具有小於分散角的收斂角。

13、如申請專利範圍第 11 項的方法，其中分散壁對環境大氣敞開。

14、一種改善用切削工具加工的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的方法，其包括步驟：

提供冷凍劑的供應；

在工件附近提供噴嘴，噴嘴包括：

用於接收冷凍劑流的至少一個進口；

與所述至少一個進口流體連通的上游部分，該上游部分用於接收至少一部分來自於所述至少一個進口的冷凍劑流；

與上游部分流體連通並且用於接收至少一部分來自於上游部分的冷凍劑流的下游部分；和

與下游部分流體連通並且適合接收並且發射至少一部分來自於下游部分的冷凍劑流的至少一個出口；

將一部分冷凍劑送到噴嘴的所述至少一個進口，其中冷凍劑在噴嘴的下游部分內至少部分分離成凝聚相部分和蒸汽部分；和

將凝聚相部分和蒸汽部分的至少一部分膨脹射流從噴嘴的所述至少一個出口噴射到切削工具和工件表面上，

其中噴嘴的下游部分具有至少一個向環境大氣敞開的分散壁和至少一個用於收斂膨脹射流的收斂壁，並且其中該至少一個分散壁具有分散角，並且該至少一個收斂壁具有小於分散角的收斂角。

15、一種形成或成形具有表面硬度的工件的方法，其包括步驟：

在工件附近提供工具，該工具用於形成或成形工件；
用該工具形成或成形工件；和
在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度。

16、一種通過如申請專利範圍第 15 項的方法形成或成形的工件，特徵在於具有改善的表面光潔度、改善的表面完整性、或改善的表面光潔度和改善的表面完整性。

17、如申請專利範圍第 16 項的工件，所述工件具有加工表面粗糙度 (Ra)，其中該加工表面粗糙度 (Ra) 等於或小於理論粗糙度下限 (Ra-t)，按照 $Ra-t = f^2/(32r)$ 計算，其中 f 是切削工具的饋送率，而 r 是切削工具刀尖半徑。

18、如申請專利範圍第 16 項的工件，其中工件具有形成或成形的加工表面，該加工表面特徵在於具有改善的殘餘應力，所述改善的殘餘應力比由形成或成形工件而沒有在工件的形成或成形過程中增加工件表面硬度所獲得的另外一種殘餘應力壓縮更大、延伸更深、或壓縮更大並且延伸更深。

19、如申請專利範圍第 16 項的工件，其中工件包含具有選自鈷 (Co)、鉻 (Cr)、鉬 (Mo)、鎳 (Ni)、鐵 (Fe)、鎢 (W)、鋁 (Al) 和鈦 (Ti) 所組成群中的至少一種元素的至少一種金屬合金。

20、如申請專利範圍第 16 項的工件，其中至少一部分工件的形式選自鑄造形式、鍛造形式、粉末冶金形式和複合材料形式所組成群。

21、如申請專利範圍第 16 項的工件，其中工件包含至少一種聚合物或至少一種聚合物基的複合材料。

22、如申請專利範圍第 16 項的工件，其中工件具有形成或成形的加工表面，該加工表面特徵在於具有改善的疲勞強度、改善的疲勞壽命、改善的耐應力裂紋性能和改善的耐腐蝕性能中的至少一種。

23、一種加工具有表面硬度的工件的方法，其包括步驟：

在工件附近提供切削工具，切削工具用於成形工件；
用切削工具成形工件；和

在用切削工具成形工件的過程中增加工件表面硬度，其中成形的工件特徵在於具有改善的表面光潔度，其加工表面粗糙度（Ra）等於或小於理論粗糙度下限（Ra-t），按照 $Ra-t = f^2/(32r)$ 計算，其中 f 是切削工具的饋送率，而 r 是切削工具刀尖半徑。

24、一種從具有表面硬度的工件製造成品零件或成品

的方法，其包括步驟：

在工件附近提供工具，該工具用於形成或成形工件；

用工具形成或成形工件；

在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度；

和

從用工具形成或成形的工件製造成品零件或成品。

25、如申請專利範圍第 24 項的方法，其中從工件製造成品零件或成品無需使用由至少一種其他方法製造類似成品零件和類似成品所需要的至少一個額外操作，該其他方法從具有類似表面硬度的類似工件形成或成形類似成品零件或類似成品而在類似工件的形成或成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度，所述的至少一種額外操作選自研磨、拋光、搪磨、修邊、輕敲處理、滾磨、磨光、深滾壓、軟退火、軟機械加工、軟成形、軟形成和加工零件的清洗所組成群。

26、如申請專利範圍第 24 項的方法製造的成品零件或成品，並且特徵在於具有減少的製造成本，所述減少的製造成本小於由至少一種其他方法製造類似成品零件或類似成品的高製造成本，該至少一種其他方法形成或成形具有類似表面硬度的類似工件而在類似工件的形成或成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度。

27、一種從具有表面硬度的工件製造成品零件的方法，其包括步驟：

在工件附近提供切削工具，切削工具用於成形工件；

用切削工具成形工件；

在用切削工具成形工件的過程中增加工件表面硬度；
以及

從用切削工具成形的工件製造成品零件，

其中從工件製造成品零件無需使用由至少一種其他方法製造類似成品零件所需要的至少一個額外操作，該其他方法從具有類似表面硬度的類似工件成形類似成品零件而在類似工件的成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度，所述的至少一種額外操作選自研磨、拋光、搪磨、修邊、輕敲處理、滾磨、磨光、深滾壓、軟退火、軟機械加工、軟成形、軟形成和加工零件的清洗所組成群。

28、一種改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的設備，該工件具有表面硬度，該設備包括在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度的裝置。

29、如申請專利範圍第 28 項的設備，其中通過用冷凍流體冷卻工具的至少一部分、或工件的至少一部分，或工具的至少一部分和工件的至少一部分來增加工件表面硬度。

30、如申請專利範圍第 29 項的設備，其中冷凍流體的射流撞擊在工具的一部分和工件表面的一部分上。

31、如申請專利範圍第 30 項的設備，其中冷凍流體的射流以大於 0° 並小於 90° 的撞擊角 (α) 撞擊在工具的一部分上。

32、如申請專利範圍第 30 項的設備，其中冷凍流體的射流以大於 30° 並小於 90° 的撞擊角 (α) 撞擊在工具的一部分上。

33、如申請專利範圍第 30 項的設備，其中冷凍流體的射流以大於 0° 並小於 180° 的散佈角 (β) 撞擊在工件的表面上。

34、一種改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的設備，該工件具有表面硬度，該設備包括在用工具形成或成形工件之前、用工具形成或成形工件的過程中、或用工具形成或成形工件過程之前和過程之中增加工件表面硬度的裝置。

35、如申請專利範圍第 34 項的設備，其中通過熱處理、化學處理和機械處理中的至少一種增加工件表面硬度。

36、一種改善用切削工具加工的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的設備，該工件具有表面硬度，該設備包括在用切削工具加工工件過程中增加工件表面硬度的裝置，其中通過用冷凍流體冷卻切削工具的至少一部分和工件的至少一部分來增加工件表面硬度，並且冷凍流體的射流以大於 0° 並小於 90° 的撞擊角 (α) 撞擊在切削工具的一部分上，而冷凍流體的射流以大於 0° 並小於 180° 的散佈角 (β) 撞擊在工件的表面上。

37、一種改善用工具形成或成形的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的設備，其包括：

冷凍劑的供應；

在工件附近的噴嘴，噴嘴具有：

用於接收冷凍劑流的至少一個進口；

與所述至少一個進口流體連通的上游部分，該上游部分用於接收至少一部分來自於所述至少一個進口的冷凍劑流；

與上游部分流體連通並且用於接收至少一部分來自於上游部分的冷凍劑流的下游部分；和

與下游部分流體連通並且用於接收並且發射至少一部分來自於下游部分的冷凍劑流的至少一個出口；

將一部分冷凍劑送到噴嘴的所述至少一個進口的裝置，其中冷凍劑在噴嘴的下游部分內至少部分分離成凝聚

相部分和蒸汽部分；和

將凝聚相部分和蒸汽部分的至少一部分膨脹射流從噴嘴的所述至少一個出口噴射到工具和工件表面上的裝置。

38、如申請專利範圍第 37 項的設備，其中噴嘴的下游部分具有至少一個分散壁和至少一個用於收斂膨脹射流的收斂壁。

39、如申請專利範圍第 38 項的設備，其中所述至少一個分散壁具有分散角，並且所述至少一個收斂壁具有小於分散角的收斂角。

40、如申請專利範圍第 38 項的設備，其中分散壁對環境大氣敞開。

41、一種改善用切削工具加工的工件的表面光潔度和表面完整性中的至少一種的設備，其包括：

冷凍劑的供應；

在工件附近的噴嘴，噴嘴具有：

用於接收冷凍劑流的至少一個進口；

與所述至少一個進口流體連通的上游部分，該上游部分用於接收至少一部分來自於所述至少一個進口的冷凍劑流；

與上游部分流體連通並且用於接收至少一部分來自於

上游部分的冷凍劑流的下游部分；和

與下游部分流體連通並且用於接收並且發射至少一部分來自於下游部分的冷凍劑流的至少一個出口；

將一部分冷凍劑送到噴嘴的所述至少一個進口的裝置，其中冷凍劑在噴嘴的下游部分內至少部分分離成凝聚相部分和蒸汽部分；和

將凝聚相部分和蒸汽部分的至少一部分膨脹射流從噴嘴的所述至少一個出口噴射到切削工具和工件表面上的裝置，

其中噴嘴的下游部分具有至少一個向環境大氣敞開的分散壁和至少一個用於收斂膨脹射流的收斂壁，並且其中該至少一個分散壁具有分散角，並且該至少一個收斂壁具有小於分散角的收斂角。

42、一種形成或成形一種具有表面硬度的工件的設備，其包括：

在工件附近的工具，該工具用於形成或成形工件；

用該工具形成或成形工件的裝置；和

在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度的裝置。

43、通過如申請專利範圍第 42 項的設備所形成或成形的工件，該工件的特徵在於具有改善的表面光潔度、改善的表面完整性、或改善的表面光潔度和改善的表面完整性。

44、如申請專利範圍第 43 項的工件，所述工件具有加工表面粗糙度 (Ra)，其中該加工表面粗糙度 (Ra) 等於或小於理論粗糙度下限 (Ra-t)，按照 $Ra-t = f^2/(32r)$ 計算，其中 f 是切削工具的饋送率，而 r 是切削工具刀尖半徑。

45、如申請專利範圍第 43 項的工件，其中工件具有形成或成形的加工表面，該加工表面特徵在於具有改善的殘餘應力，所述改善的殘餘應力比由形成或成形工件而沒有在工件的形成或成形過程中使用增加工件表面硬度的裝置所獲得的另外一種殘餘應力壓縮更大、延伸更深、或壓縮更大並且延伸更深。

46、如申請專利範圍第 43 項的工件，其中工件包含具有選自鈷 (Co)、鉻 (Cr)、鉬 (Mo)、鎳 (Ni)、鐵 (Fe)、鎢 (W)、鋁 (Al) 和鈦 (Ti) 所組成群中的至少一種元素的至少一種金屬合金。

47、如申請專利範圍第 43 項的工件，其中至少一部分工件的形式選自鑄造形式、鍛造形式、粉末冶金形式和複合材料形式所組成群。

48、如申請專利範圍第 43 項的工件，其中工件包含至少一種聚合物或至少一種聚合物基的複合材料。

49、如申請專利範圍第 43 項的工件，其中工件具有形成或成形的加工表面，該加工表面特徵在於具有改善的疲勞強度、改善的疲勞壽命、改善的耐應力裂紋性能和改善的耐腐蝕性能中的至少一種。

50、一種加工一種具有表面硬度工件的設備，其包括：
在工件附近的切削工具，切削工具用於成形工件；
用切削工具成形工件的裝置；和
在用切削工具成形工件的過程中增加工件表面硬度的裝置，其中成形的工件特徵在於具有改善的表面光潔度，其加工表面粗糙度（Ra）等於或小於理論粗糙度下限（Ra-t），按照 $Ra-t = f^2/(32r)$ 計算，其中 f 是切削工具的饋送率，而 r 是切削工具刀尖半徑。

51、一種從具有表面硬度的工件製造成品零件或成品的設備，其包括：

在工件附近的工具，該工具用於形成或成形工件；
用工具形成或成形工件的裝置；
在用工具形成或成形工件過程中增加工件表面硬度的裝置；和
從用工具形成或成形的工件製造成品零件或成品的裝置。

52、如申請專利範圍第 51 項的設備，其中從工件製造成品零件或成品無需使用由至少一種其他設備製造類似成品零件和類似成品所需要的至少一個額外操作，該其他設備從具有類似表面硬度的類似工件形成或成形類似成品零件或類似成品而在類似工件的形成或成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度，所述的至少一種額外操作選自研磨、拋光、搪磨、修邊、輕敲處理、滾磨、磨光、深滾壓、軟退火、軟機械加工、軟成形、軟形成和加工零件的清洗所組成群。

53、由如申請專利範圍第 51 項的設備製造的成品零件或成品，並且特徵在於具有減少的製造成本，所述減少的製造成本小於由至少一種其他設備製造類似成品零件或類似成品的高製造成本，該至少一種其他設備形成或成形具有類似表面硬度的類似工件品而在類似工件的形成或成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度。

54、一種從具有表面硬度的工件製造成品零件的設備，其包括：

在工件附近的切削工具，切削工具用於成形工件；

用切削工具成形工件的裝置；

在用切削工具成形工件的過程中增加工件表面硬度的裝置；和

從用切削工具成形的工件製造成品零件的裝置，

其中從工件製造成品零件無需使用由至少一種其他設備製造類似成品零件所需要的至少一個額外操作，該其他設備從具有類似表面硬度的類似工件成形類似成品零件而在類似工件的成形過程中沒有增加類似工件的類似表面硬度，所述的至少一種額外操作選自研磨、拋光、搪磨、修邊、輕敲處理、滾磨、磨光、深滾壓、軟退火、軟機械加工、軟成形、軟形成和加工零件的清洗所組成群。

55、一種將冷凍劑的膨脹射流噴射到工件的表面的噴嘴，其包括：

用於接收冷凍劑流的至少一個進口；

與所述至少一個進口流體連通的上游部分，該上游部分用於接收至少一部分來自於所述至少一個進口的冷凍劑流；

與上游部分流體連通並且用於接收至少一部分來自於上游部分的冷凍劑流的下游部分；

與下游部分流體連通並且用於接收並且發射至少一部分來自於下游部分的冷凍劑流的至少一個出口；和

在噴嘴的下游部分內將冷凍劑至少部分分離成凝聚相部分和蒸汽部分的裝置。

56、如申請專利範圍第 55 項的噴嘴，進一步包括用於限制冷凍劑的膨脹射流的內部膨脹室，其中噴嘴用於夾住具有工具前刀面表面的切削工具。

57、如申請專利範圍第 55 項的噴嘴，其中噴嘴的下游部分具有至少一個分散壁和至少一個用於收斂冷凍劑的膨脹射流的收斂壁。

58、如申請專利範圍第 57 項的噴嘴，其中分散壁具有分散角，並且收斂壁具有小於分散角的收斂角。

59、如申請專利範圍第 57 項的噴嘴，其中分散壁對環境大氣敞開。

60、一種將冷凍劑膨脹射流噴射到工件表面上的噴嘴，其包括：

用於接收冷凍劑流的至少一個進口；

與所述至少一個進口流體連通的上游部分，該上游部分用於接收至少一部分來自於所述至少一個進口的冷凍劑流；

與上游部分流體連通並且用於接收至少一部分來自於上游部分的冷凍劑流的下游部分；

與下游部分流體連通並且用於接收並且發射至少一部分來自於下游部分的冷凍劑流的至少一個出口；

在噴嘴的下游部分內將冷凍劑至少部分分離成凝聚相部分和蒸汽部分的裝置；和

用於限制冷凍劑的膨脹射流的內部膨脹室，

其中噴嘴的下游部分具有至少一個向環境大氣敞開的分散壁和至少一個用於收斂冷凍劑膨脹射流的收斂壁，以及

其中分散壁具有分散角，並且收斂壁具有小於分散角的收斂角，

其中噴嘴用於夾住具有工具前刀面表面的切削工具。

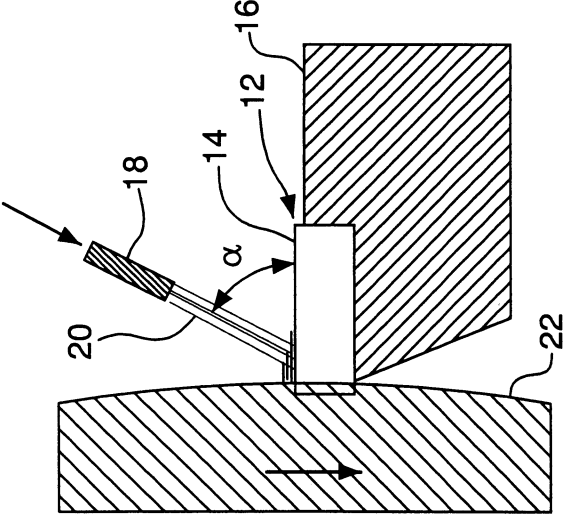


圖 1A

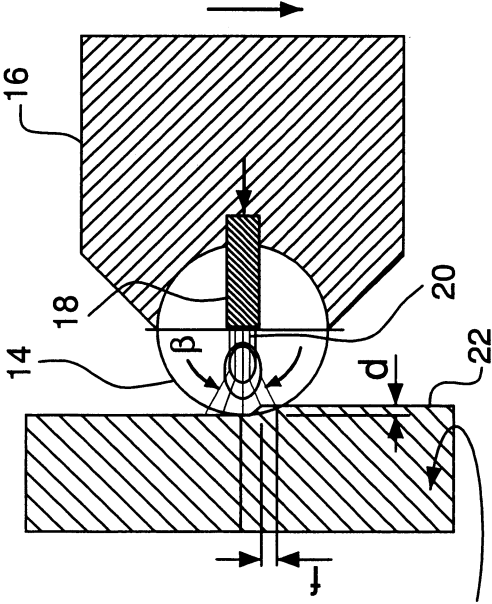


圖 1B

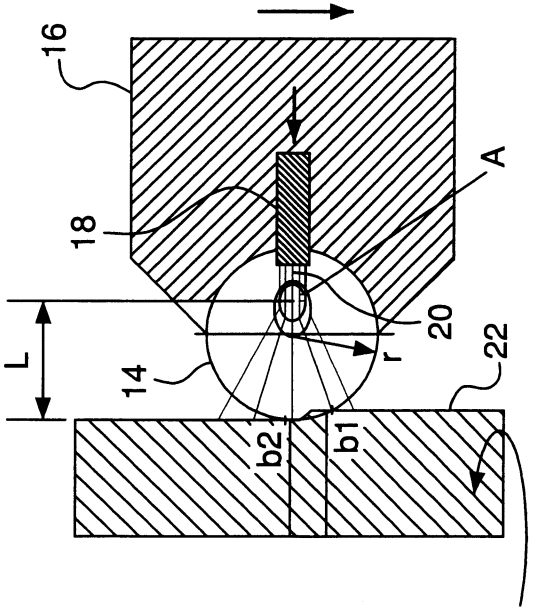


圖 1C

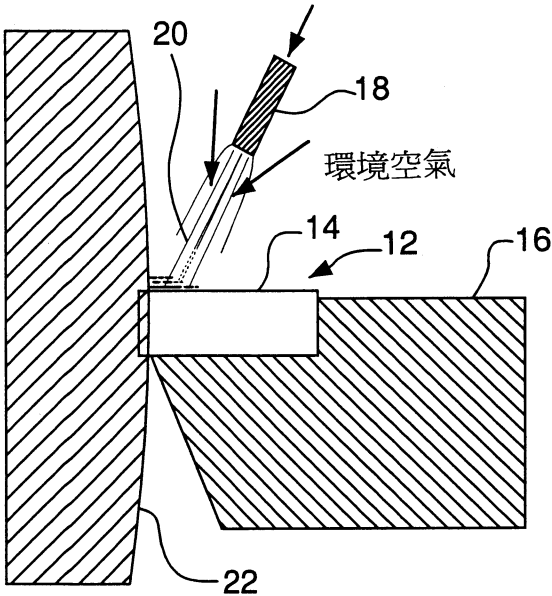


圖 2A

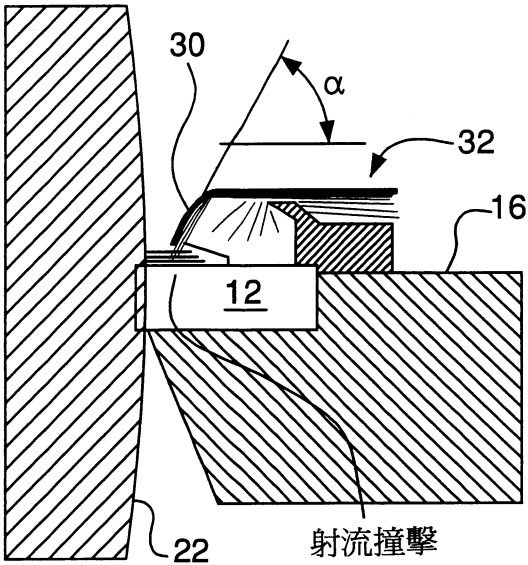


圖 2C

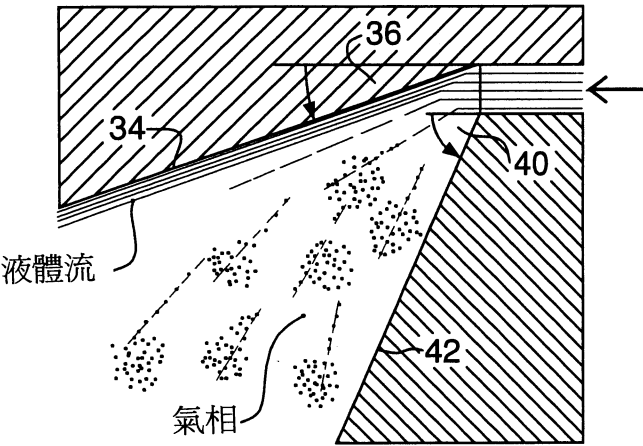


圖 2B

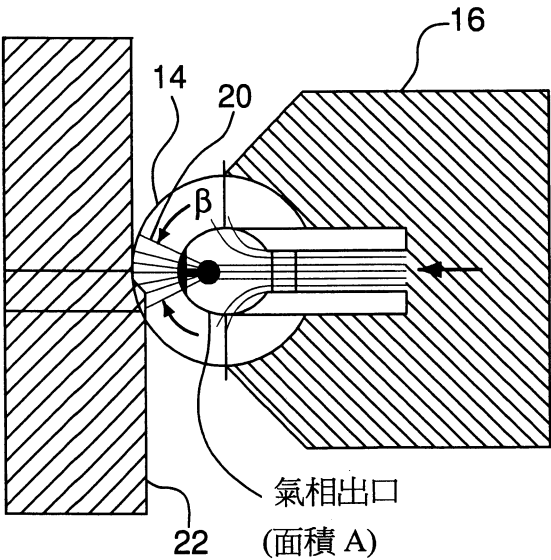


圖 2D

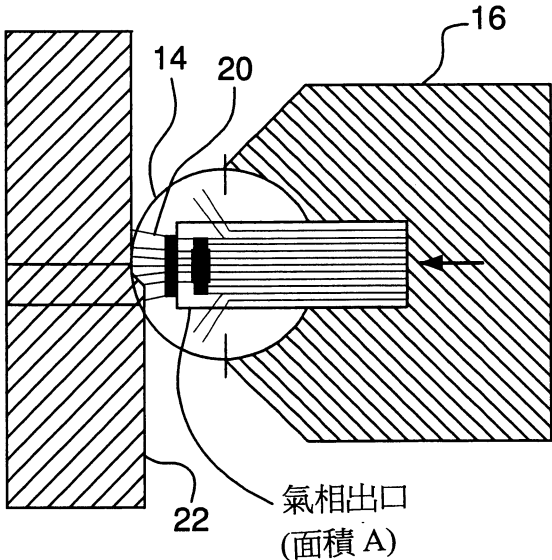


圖 2E

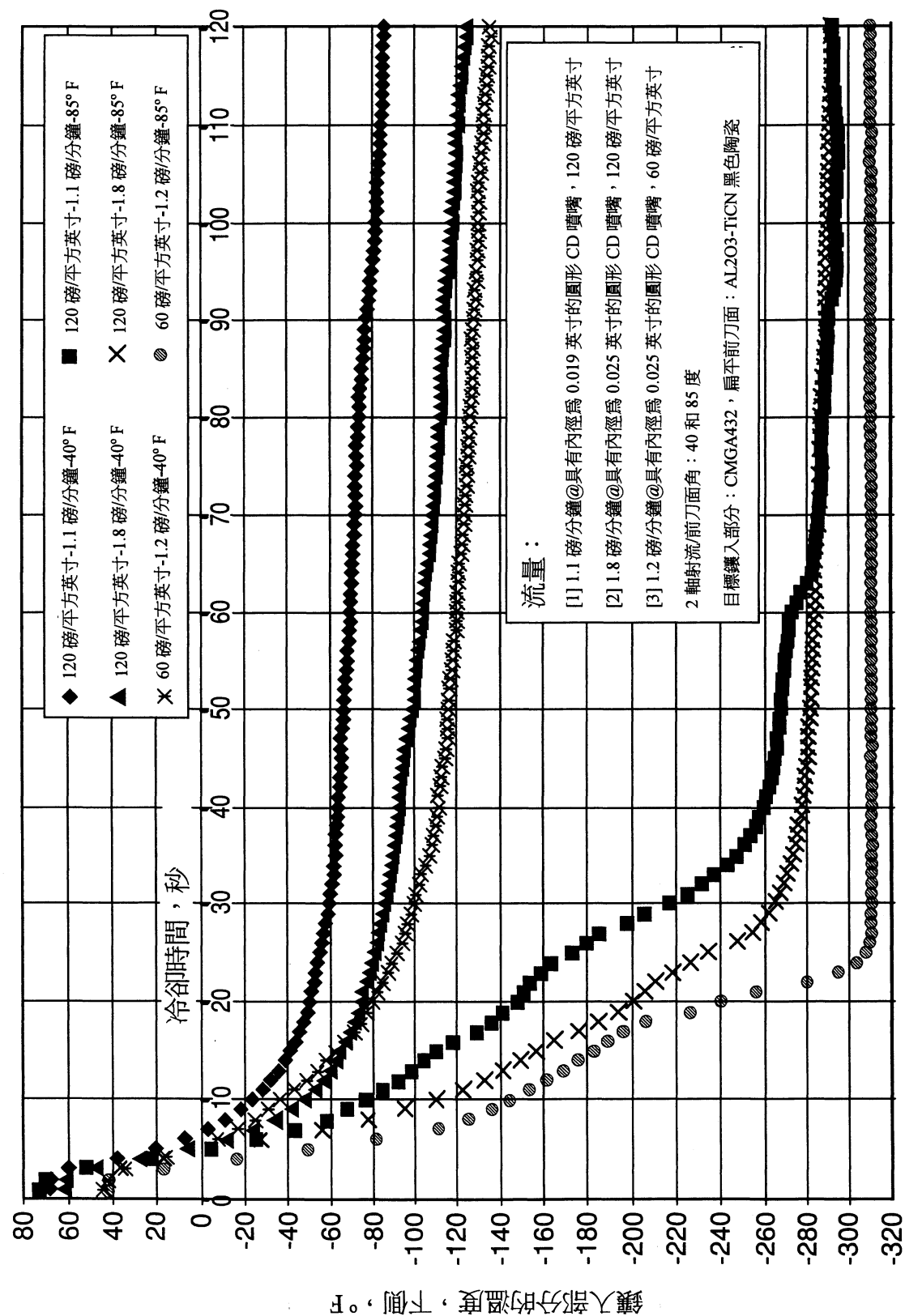


圖 3

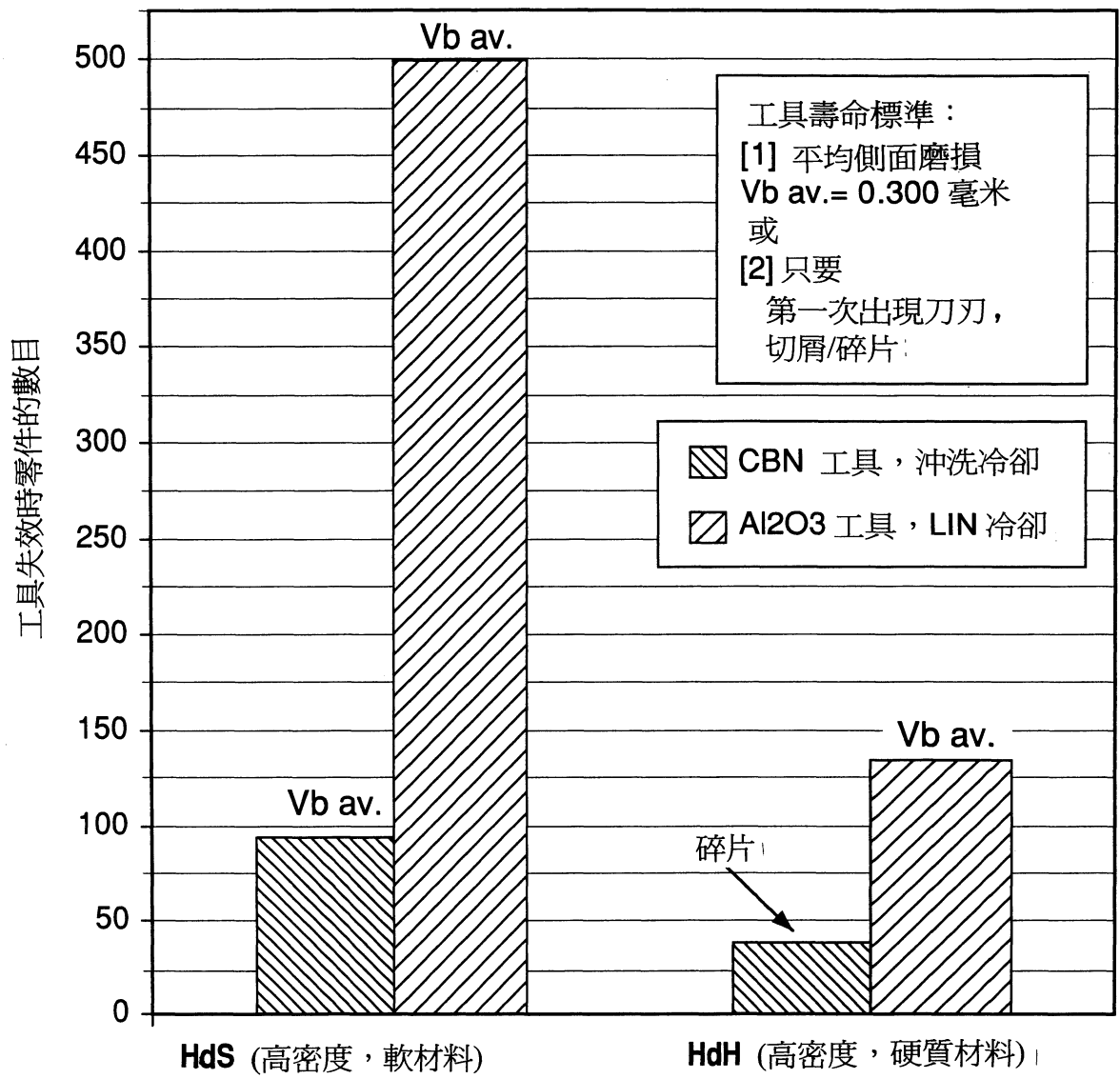


圖 4

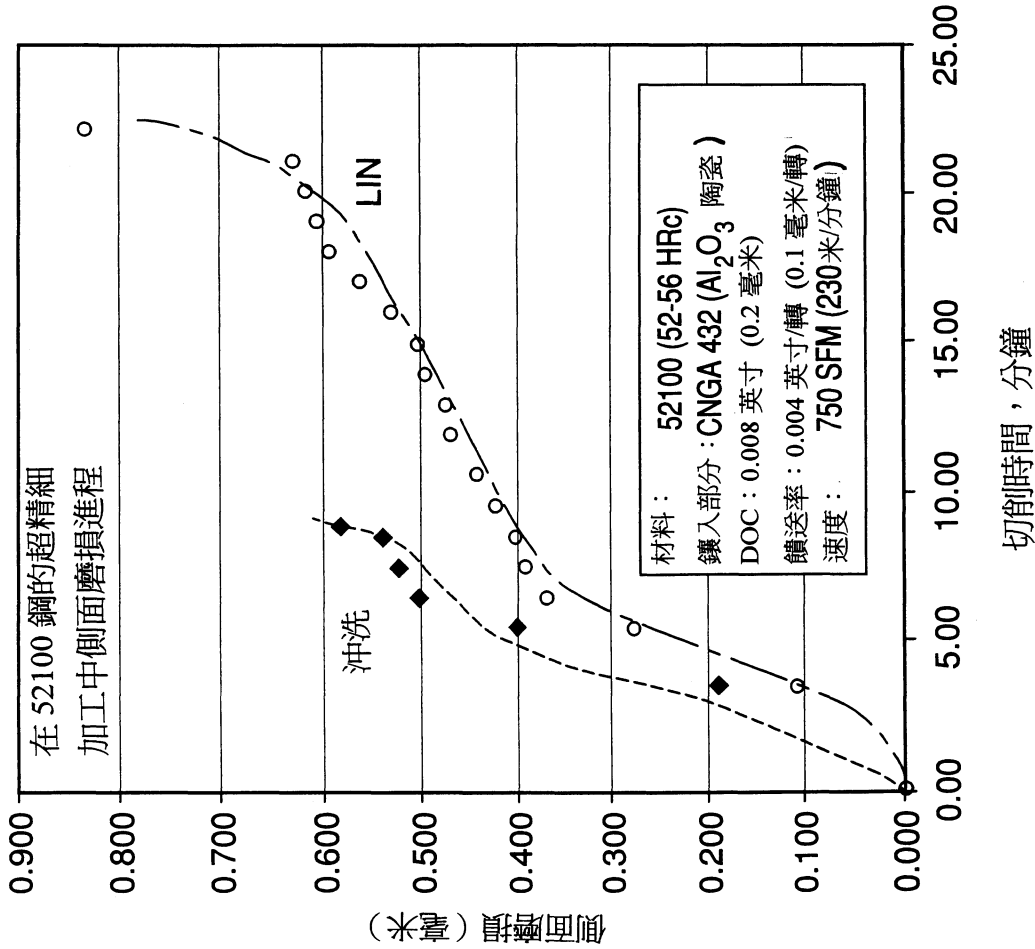


圖 5A

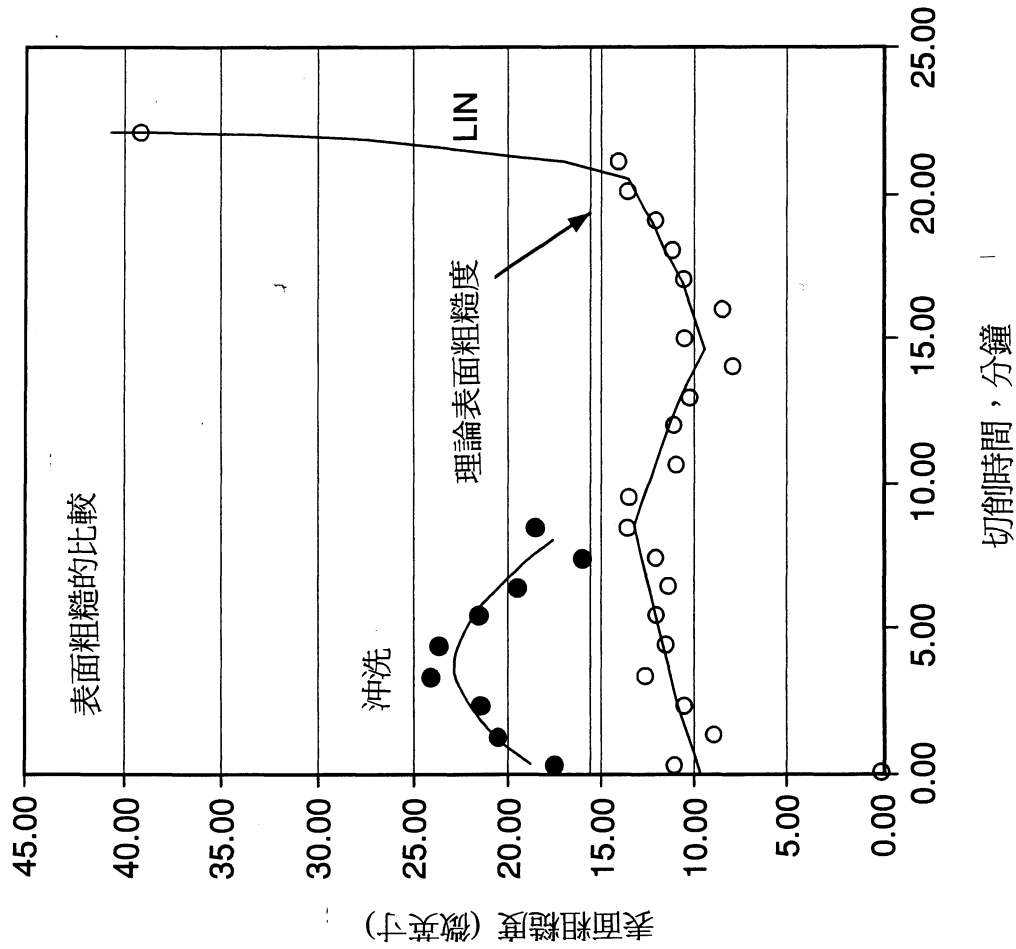
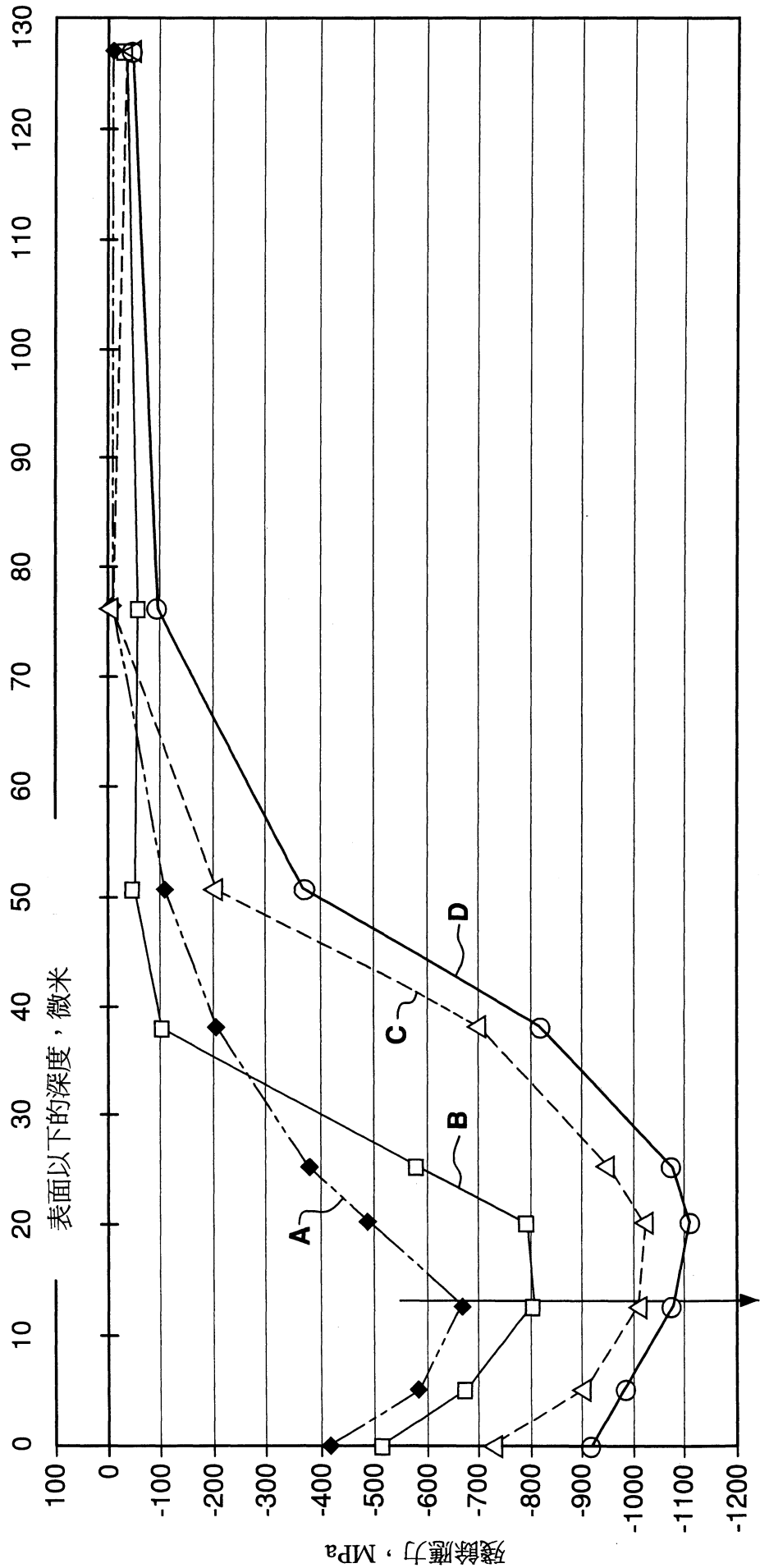


圖 5B



在加工操作過程中，逐漸減小溫度並增加加工材料表面的硬度

圖 6

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (4) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：