

噴彈強化對 鋼質另件性能的影響

技術科學副博士

E. H. 波爾霍維吉諾娃講師 著



國防工業出版社

668

內 容 介 紹

本書對噴彈強化工藝過程、強化加工設備的選用、彈子品類和加工規範作了簡明的介紹。

並且主要是將噴彈強化對鋼質零件的金相組織、硬度、耐勞強度和循環韌性等之變化的影響進行了詳盡的敘述。

本書係供工程師和科學研究部門工作人員使用。

Е. Н. Болховитинова

ВЛИЯНИЕ

ДРОБЕСТРУЙНОГО НАКЛЕПА

НА СВОЙСТВА

СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Государственное научно-техническое издательство

машиностроительной литературы

Москва 1953

本書係根據蘇聯國立機器製造書籍出版社

一九五三年俄文版譯出

*

噴彈強化對鋼質零件性能的影響

技術科學副博士 Е. Н. 波爾霍維吉諾娃講師 著

劉遠錫、許雲德、祁潤棠、孫慶鳳、戴國柱 譯

袁伯珍、劉澤仁 校

*

國防·工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

旅大日報印刷廠排版 瀋陽七〇一工廠印刷

新華書店發行

*

787×1092 1/32 · 3516 印張 · 61,400 字

一九五六年六月第一版

一九五六年六月瀋陽第一次印刷

印數：1—6000 冊 定價：(10) 0.50 元

引 言

隨着我國(蘇聯)機器總額的增長及其利用率的提高，爭取延長機器使用期限的工作，在國民經濟中就具有很大的意義。

延長機器使用期限的現實辦法，就是提高機器的壽命及其使用的可靠性。採用機器零件的新的表面強化法，就能大大地提高零件的耐勞強度和機器的有效作用係數而不增加其重量，以及能延長機器的使用期限，保證延長修理之間的使用時間和縮小修理範圍。

疲勞的破壞，一般是由抗拉應力所引起的。它是從表面疵病的地方開始，即從有尖刻痕、機械加工痕跡、細裂紋、鏽蝕痕跡的地方，特別是晶粒界面受到侵蝕的地方開始。因此爲了提高零件的耐勞極限，要把零件加以搪磨、磨光和拋光，以消除目力可見的綫痕。假定說：這種零件在試驗時，耐勞極限很高，即零件的金屬材料對交變應力作用的抵抗能力很高。然而即使零件加工得極其精細，而在表面上仍不免有超顯微疵病，以致成爲應力集中的地方和形成疲勞裂紋的起點。此外，磨光和拋光還可能使表面由於發熱產生很大的害多而利少的抗拉應力。這種應力甚至常常引起磨光的裂紋。

提高機器零件的強度和壽命的有效辦法，就是噴彈強化，這是最新的表面強化方法之一，它的應用已經日益廣泛。

近年來，蘇聯有很多學者和產業工作者在研究噴彈處理的問題。在這一方面作了巨大工作的有中央機器製造與工藝科學研究所、交通部中央科學研究所、莫斯科城斯大林汽車工廠、高爾基城莫洛托夫汽車工廠等單位。這些工作，既涉及到設備的設計、涉及到噴彈處理的工藝過程研究和改進，也涉及到零件表層由於強化影響而產生的那些變化，其目的是要找出強化的基本因素及強化作用的機械。這些研究的結果和理論原理已登在莫·莫·沙維林、恩·阿卡拉雪夫、阿·莫·達拉索夫、得·阿·斯維什尼柯夫等人的著作中[13]~[15], [31], [35]~[37], [39]。

噴彈強化過程的實質，就是使業經機械加工和熱處理的成品零件，再用金屬彈子作彈擊加工；金屬彈子是用空氣流噴出，或用速轉輪的葉片以高速拋出的。每顆高速運動的彈子都好像一個圓頭小錘，把零件的表面敲成一個個小窩。這樣衝擊，結果使零件表面變得粗糙不平。金屬愈硬，彈子愈細，小窩也就愈小。由於塑性變形就使零件表面強化。

於是，零件表層的物理性質就發生了改變。

1. 形成了深達 0.2~0.4 公厘和 0.4 公厘以上的變了形的強化層，這樣，因為結晶格子發生畸變，晶粒尺寸、形狀和方位發生變化，就增加了表層硬度及對塑性變形和破壞的抵抗力。

2. 變了形的金屬表層使得應力在零件的斷面上分佈良好。在表面的每一平方公厘上產生達幾十公斤的壓縮應力。

3. 零件的整個表面有了一層細小麻點，於是就使微小的表面疵病和機械加工痕跡被砸扁，疵病底面也隨着變

平，這樣就減弱了疵病周圍應力的集中。

彈擊加工比起其他表面強化法來，有許多工藝上和經濟上的優點。

這種強化法的優點，是：簡單易行、生產力高、用於設備和彈子的費用相對減低，處理過程的效果很大，所以它在工業上得到廣泛的採用。

對於那些形狀極為複雜，不可能用軋輥加工，或者，熱處理時會產生不許可的變形的零件，可以採用彈擊加工。而對於那些在結構上、使用上或工藝上具有應力集中點（如凹谷、切口、壓進的套筒）的零件，或是那些在浸蝕條件下進行工作的零件，採用彈擊加工尤其有效。

彈擊加工不論是用於減弱孔內的、斷面急劇過渡處的和槽溝處的應力，或是用於消除表面脫炭所造成的影響，都有極其重要的意義。彈擊加工時，像磨光及拋光這類工序都可以不作，而不致有損於耐勞強度的提高，這樣就使生產成本大為降低。彈擊加工特別使受過熱處理而靜力強度高的鋼的耐勞極限和壽命大為提高，而且彈擊加工能使鋼內的合金成份含量降低而無損於零件質量。此外，淬過火的高合金鋼對於切口和斷面的急劇過渡極為敏感，經彈擊加工後，就能在很大的程度上使其喪失這一性能。

彈擊加工後，鋼件對腐蝕性疲勞（在中性溶液中和鹽水中）的抵抗能力顯著提高〔9〕，〔23〕，〔42〕。

彈擊加工對於承受靜力抗拉應力和靜力壓縮應力作用的零件效果很小；因為在這種情況下，最大工作應力是分佈在整個零件斷面上的，所以表面強化和壓縮內應力的作用也就不大了。把彈擊加工和像滲炭一類的表面強化法結合應用，就可以使耐勞強度大大提高。表面在磨光後所產

生的抗拉應力，可以由彈擊加工所產生的壓縮應力將其抵銷。

零件在高頻率淬火後，施行彈擊加工所產生的效果很大；因為淬火時，在零件表層內由淬火處過渡到未淬火處的部位，可能由於結構的改變而產生了抗拉應力；這種應力在彈擊加工時即被消除。零件在電鍍以前進行了彈擊加工，就可以消除抗拉應力對耐勞強度的影響[12]。

彈擊加工與別種表面強化法結合應用；構成一個表層應力的綜合曲綫；在很多情況下都使壓縮應力曲綫的坡度增大，這就能加大零件的耐勞強度。

不過在結構的應力集中點很大的時候，起主要作用的，除壓縮應力外，還有不依零件尺寸為轉移的強化層深度。

彈擊加工後，材料對過渡負荷的敏感度增加了。在過度負荷時，彈擊加工時所產生的良好壓縮應力就會很快消失，處理的效果也就化為烏有。此外，表面強化所產生的對塑性變形的抗力也很快耗盡。這一現象可以用下列事實來證實，即經過彈擊加工的試樣的耐勞度曲綫和可壞性曲綫位置，較之未經彈擊加工的試樣的曲綫位置要來得比較斜些；因此對於那些作過彈擊加工的零件，在其應力大大超過其耐勞極限時，彈擊加工不能產生效果。

使用那些經過彈擊加工的零件時所必須考慮的是：那怕所加的負荷只比計算負荷稍微大一點，都會使零件的使用期限大大縮短。

鑑於上述各種情況，在修理業中，對於那些用舊的零件，採取噴彈強化作為一種普通的預防方法愈來愈多；這是因為彈擊加工所產生的良好殘餘應力，可能在零件工作

過程中所耗盡。

彈擊加工可使原始的疲勞裂紋，對金屬強度的有害影響局部地被制服，即延緩或阻止這種裂紋的發展。彈擊加工不僅在彈子半徑比應力集中點的半徑小的時候和彈子直接使集中點的底面強化的時候有效〔27〕；而且在彈子不能直接打到已有的裂紋或切口上的時候，甚至在切口是在彈擊加工後所造成的時候，也有效果。這是因為彈擊加工後在另件表層產生了殘餘的壓縮應力，而且這種應力分佈得比切口或裂紋深些。這種應力是在彈擊加工後由於金屬表層擴展所造成的。但是，如果切口過深和裂紋處於隱蔽狀態時，彈擊加工就沒有用。

我國（蘇聯）工業中採用噴彈處理的經驗和蘇聯研究家的工作告訴我們：這一方法的使用範圍是極其廣闊的。將要採用噴彈處理的零件數目，在日益增加。現在可以用噴彈處理的有下列零件：閥簧，掛鈎簧，汽車疊板簧，傳動箱的齒輪和後橋齒輪（傘形齒輪及正齒輪），各種各樣的軸——曲柄軸、傳動軸、扭力軸；半圓軸、軸桿、連桿、活塞桿；閥門槓桿；轉動凸輪；萬向接頭；履帶的鏈軸和鏈節、鏈條的鏈節；汽缸套筒、活塞、齒輪箱和滑塊；銲接的裝配件；螺栓、雙頭螺桿、套管和軸承；切削工具，沖模等。

由於噴彈強化法，是一種新的尚未研究成功的方法，所以作者曾研究過許多將在機器製造業中採用的經過各種熱處理的鋼的強化特點。研究過噴彈強化對鋼的顯微組織及其硬度的影響，研究過表層殘餘應力的分佈情況，測定過強化層的深度，研究過噴彈強化對循環韌性及耐勞強度的影響。此外，還援引了彈簧、疊板簧、齒輪等零件強化效果

的數據。爲了使以後的敘述更容易爲廣大讀者了解起見，特將噴彈處理的設備及其工藝法根據現已出版的著作作了簡單的說明。

欲詳悉噴彈處理的工藝法者，請參考“參考書目”內的專題著作。

目 錄

引 言

第一章 噴彈強化工藝概述	1
設備的選擇	1
彈子及對彈子的要求	5
強化規範的選擇及其過程的檢驗	8
第二章 噴彈強化對鋼的性能的影響	17
材料及其熱處理	17
設備、彈子和處理規範	20
噴彈強化後顯微組織和硬度的變化	21
噴彈強化的深度	28
彈擊加工後，表面顯微幾何形狀的變化	34
噴彈強化後的殘餘應力	37
噴彈強化對循環韌性的影響	44
噴彈強化對耐勞強度的影響	56
第三章 零件的噴彈處理	67
結束語	84
參考書	86
中俄名詞對照表	91



第一章

噴彈強化工藝概述

設備的選擇

現代在彈擊加工中廣泛採用的是各種結構的離心拋彈機和風動噴彈機。每一種裝置都由下列幾個部分組成：

1) 機械轉子式或空氣噴咀式拋彈機； 2) 送料機構——旋轉工作台或縱向移動的傳送帶； 3) 封閉的和襯有橡皮的工作室； 4) 碎彈分離器； 5) 連續送彈提昇機； 6) 除塵器，〔2〕，〔19〕，〔20〕，〔33〕和〔38〕。

即在特殊情況下也很少用自由落彈式裝置來作彈擊加工。這類裝置的生產力很低，能力也小；此外，像安裝這樣的裝置還須要有很高的房子。因而它的使用範圍便受到很大的限制。然而在彈擊加工精密工件時〔22〕，宜於採用自由落彈式的裝置；因為採用這種裝置可以保證必要的表面光潔度和足夠深度的強化層（約 0.1 公厘）。

風動噴彈機是按清理零件用的噴砂機的型式製成的。離心拋彈機有一個旋轉的轉子，由它把從專門漏斗漏到它的葉片上的彈子拋射出去。

風動噴彈機的用途很有限，只適用於下列情況：

- 1) 處理深孔和深溝而必須使用長的噴咀時；
- 2) 實驗室試驗和在處理少量各種細小零件，須用不大的彈擊室時；
- 3) 零件不需要在全部表面上進行處理，而只處理表

面的一小部分時。

風動噴彈機的主要缺點有： 1) 能力消耗大； 2) 生產力小； 3) 操作調整不够靈活。

因此，彈擊加工時所用最廣的是機械（離心式）拋彈機（圖 1, 2, 3）；它用很大的快速旋轉的轉輪（轉子）的葉片把彈子拋出來。靠調整拋彈機轉子的位置可以在要求的方向上改變彈流的密集度。

用機械拋彈機進行彈擊加工的優點有：

1. 因為彈子飛速是依拋彈機轉子的轉速而定，所以它易於調整和保持一定。而在空氣噴彈機，因其吹風壓力不穩定和噴咀的橫斷面因磨損而增大；這就使得加工強度發生改變。如果其他條件相等，則機械（離心）彈擊加工的強度與拋彈機轉子的轉數之間有一定數量上的依賴關係。彈子飛速可以在很大的範圍內調整；同樣也可以調整彈流方向和工件的轉動。

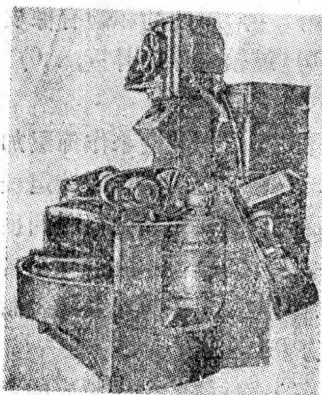


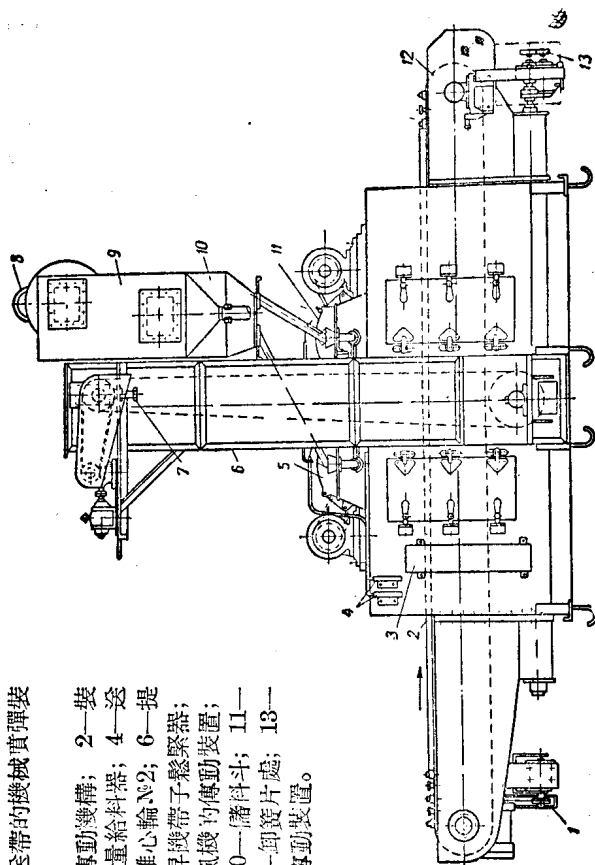
圖 1 帶旋轉工作台的機械拋彈裝置。

2. 設備生產力高（由於彈子飛速大）和能力消耗小[43]。例如：一台機械拋彈機用15匹馬力，可以在一分鐘內拋出 120 公斤彈子。但在同樣時間內用空氣噴彈機噴出同樣數量的彈子，要五個 10 公厘粗的噴咀，消耗190匹馬力的能力；就是幾乎要多 12 倍。

3. 機械拋彈機不需要有空氣壓縮機、壓力調節器以

圖 2 處理疊板簧片(ГАЗ)用，
帶縱向移動傳送帶的機械實彈裝
置示意圖

1—傳送帶的傳動機構； 2—裝
簧片處； 3—定量給料器； 4—送
彈調節器； 5—離心輪№2； 6—提
昇機； 7—提昇機帶子鬆緊器；
8—分離器通風機的傳動裝置；
9—分離器； 10—諸料斗； 11—
離心輪№1； 12—卸簧片處； 13—
螺旋傳送帶的傳動裝置。



及其它等等。

4. 使用機械拋彈機，不致發生乾燥空氣的問題，彈子導管內的彈子不致發生銹蝕和阻塞。

彈擊加工設備的特點在於相對的簡單。各種設備的個別部件的構造基本上是相同的。各種機器的離心輪（轉子）都是安在水平軸或豎軸上的〔19〕；其寬度為45～125公厘，直徑為200～500公厘，轉速是2200～3500轉/分，工件與轉子邊緣間之距離由300～500公厘。

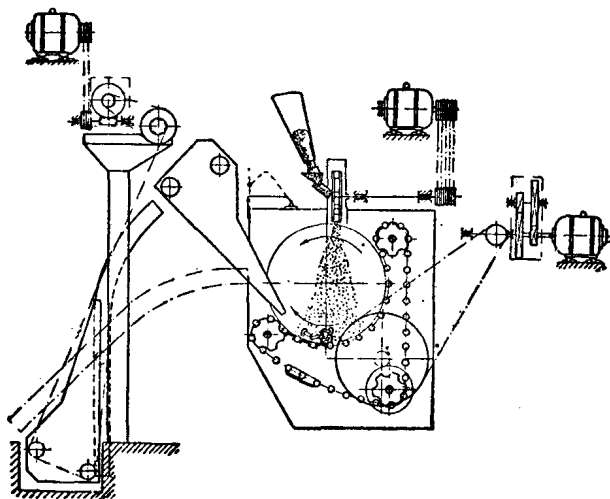


圖 3 處理盤簧（3HC）用滾桶式噴彈裝置示意圖

在生產的設備中，用旋轉的圓工作台（圖1），鏈式傳送帶（圖2），或者用傳送帶將工件送入彈流下面的彈擊室。傳送零件的速度，根據所要求的處理規範調節。彈擊室和送料機構的構造是極其多樣的，應具體地根據不同

工件專門製備。爲了避免室壁受到彈子的碰損起見，可在裡面襯一層橡皮。

用過的彈子由提昇機將其送入分離器的漏斗，彈子由此均勻地流到分離器的斜板上。彈子在重力作用下向下移動，落入拋彈機的漏斗。彈子在下落時遇到從通風機裡來的空氣流；打碎了的小彈子被空氣帶走並且送到碎彈漏斗內。拋彈機內的鐵末能降低裝置的效率和生產力；爲了清除它們使用專門的管狀集塵器；有鐵末的空氣在集塵管間通過時，失掉速度，因而鐵末便沉積在除塵器的漏斗內。

彈子及對彈子的要求

到現在爲止，主要是採用斯大洛奧斯柯爾斯基機械廠製的白口鐵彈子（表1）。最常用的彈子直徑是 0.4~2 公厘（表2）。硬度是 $Rc=62\sim64$ 。這種彈子的缺點是脆性高。阿·莫·達拉索夫、波·哥·捷馬也夫和德·阿·斯維什尼柯夫〔17〕研究出：減少磷的含量和加入銅，可使彈子的堅韌性大大提高（表1，試驗爐號1, 2, 3）。

彈子應是球形的並應該結實。爲了避免彈子在衝擊時變形，其硬度應比工件的硬度高；但硬度過高又會增加它的脆性，造成彈子很快的破碎；同時還會使被加工表面受到損害及降低加工的效率。

生鐵彈子因爲質量不高，有脆性和塑性低，不能保持很長的使用期限，所以使強化工序的成本提高。

現在，在莫斯科斯大林汽車廠〔1〕和高爾基城莫洛托夫汽車廠〔3〕都採用鋼彈，其製得方法是先將鋼絲截成小段，然後加以滾磨。這種彈子的直徑等於0.5~1.5公

厘。截鋼絲是用專門自動機來進行的，並在進行時不斷地用乳狀液加以冷卻〔3〕。然後把切成的各段鋼絲加以洗滌、乾燥，裝入機械拋彈機的漏斗，用它們處理任何的金

表 1

彈子化學成份

彈 子	化 學 成 份 (%)						
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu
斯大洛奧斯 柯爾斯基 廠的〔17〕...	3.35	1.85	0.49	0.110	0.354	0.08	—
試驗爐號 1...	3.20	1.72	0.57	0.058	0.154	0.12	1.14
試驗爐號 2...	3.20	1.78	0.56	0.060	0.153	0.13	1.43
試驗爐號 3...	3.20	1.82	0.50	0.053	0.161	0.08	3.0
斯大洛奧斯 柯爾斯基 廠的〔35〕...	3.26	2.72	0.57	—	—	—	—
參考書籍〔44〕 內的數據...	3.2— 3.6	1.4— 2.2	0.3— 0.5	0.07— 0.17	0.3— 0.6	從廢鋼裡面來的 Ni 和 Cr 含量 不得超過 0.1~0.2%	

屬零件。結果各段鋼絲被磨成圓形，彈子的硬度同時也提高了。通常採用 III 型的鉛淬火鋼絲做鋼彈。也可以採用這樣的熱處理過的鋼絲：它除了作鉛淬火和拉製外，還進行油淬火和回火。

用含碳量為 0.7% 的鋼絲做成的彈子，在工作 40 小時後，其硬度〔1〕由 $HRe=36\sim37$ 提高到 $HRe=42\sim44$ ，在工作 300 小時後，提高到 $HRe=48\sim50$ 。

鋼彈的堅韌性很高，所以它的使用期限很長（其消耗

表 2

最常用的斯大洛奧斯柯夫斯基彈子的尺寸

彈子號	彈子的名 義 尺 寸	過 篩 分 析 的 數 據						
		應留在下列號碼篩上的彈子 (重量百分數)						
		№ 1.4	№ 1.2	№ 1.0	№ 0.8	№ 0.6	№ 0.4	№ 0.3
0.6	0.4—0.6	—	—	—	—	<5	>80	<15
0.8	0.6—0.8	—	—	—	<5	>80	<15	—
1.0	0.8—1.0	—	—	<5	>80	<15	—	—
1.2	1.0—2.0	—	<5	>80	<15	—	—	—

註：篩號相當於篩孔的一邊的名義尺寸（公厘）。

量爲生鐵彈的 $\frac{1}{30}$ ）。此外，球形鋼彈有更高的強化效果；因此，雖然鋼彈的成本比生鐵彈爲高，而用於鋼彈強化的費用却只是使用生鐵彈時之費用的八分之一到十分之一〔1〕。

採用鋼彈，可以大大減小拋彈機轉子葉片的磨損，這樣就提高了設備的生產力。

處理零件時所用的彈子尺寸，應根據下列因素進行選擇：

1. 彈子半徑應比零件的槽溝和凹谷小。如果彈子半徑比凹谷和刀具刻痕大，處理效果就會不够大。此時必須做到：使強化層比表面應力集中點的有害影響層所分佈的深度大些。

2. 彈子愈大，強化層也愈深，因此零件的斷面愈大，彈子也就應該愈大。此外，彈子的尺寸還依零件的使

用條件而定。例如：處理閥簧時，採用直徑為 0.4 公厘的彈子；在處理直徑為 4 公厘的鋼絲彈簧時，則用直徑為 1.4 公厘的彈子；在處理連桿和曲柄軸時，則用直徑為 0.8 公厘的彈子〔43〕。

3. 彈子愈小，則工件表面愈光潔。

小彈子使用最廣，因為小彈子處理後零件表面的粗糙度較小。此外，小彈子還能更好地打到凹谷，打到各種的槽溝和機械加工的刻痕，而制服其不良作用。

如上所述，彈子應該是球形的。在使用生鐵彈的時候，必須把形狀不正的彈子，和把比實心彈容易破碎的空心彈揀出來。強化時所要使用的生鐵彈的質量，用專門裝置作試驗來確定〔17〕。例如：可以用帶離心輪的裝置〔43〕來作試驗，即用離心輪將彈子以高速拋出，打在齒狀罩子上。根據彈子破壞率達到 55% 所需要的拋射次數，判斷其質量優劣。有時用壓碎方法試驗彈子；直徑為 0.7—1 公厘的生鐵彈，每一顆應能承受 40—65 公斤的負荷。

噴彈裝置內的碎彈，用專門分離器來排除；碎彈數量不應超過 5%。

為了提高生鐵彈的耐久性，要提高其飛速使之通過拋彈機；經過這種試驗而沒有破碎的彈子，便認為是堅固的彈子。

使用鋼彈可以簡化噴彈裝置的結構，因為此時沒有必要像使用生鐵彈時那樣來分離碎彈和淨化空氣。

強化規範的選擇及其過程的檢驗

影響噴彈強化結果的有很多因素，這些因素都與噴彈強化規範和工件性質有關。主要的因素是：彈子的尺寸和