(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2017-512142
(P2017-512142A)
(43)公表日　平成29年5月18日(2017.5.18)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
B24C 11/00	***(2006.01)***	Ｂ２４Ｃ	11/00　Ｃ	
B24C 1/10	***(2006.01)***	Ｂ２４Ｃ	1/10　Ｅ	
C22C 38/00	***(2006.01)***	Ｃ２２Ｃ	38/00　３０２Ｚ	
Ｃ２１Ｄ 7/06	*(2006.01)*	Ｃ２１Ｄ	7/06　Ｚ	

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 22 頁）

(21)出願番号　特願2016-551729 (P2016-551729)
(86)(22)出願日　平成27年2月17日 (2015.2.17)
(85)翻訳文提出日　平成28年9月2日 (2016.9.2)
(86)国際出願番号　PCT/US2015/016163
(87)国際公開番号　WO2015/123673
(87)国際公開日　平成27年8月20日 (2015.8.20)
(31)優先権主張番号　61/940,140
(32)優先日　平成26年2月14日 (2014.2.14)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(71)出願人　505307611
ザ・ナノスティール・カンパニー・インコーポレーテッド
アメリカ合衆国・ロードアイランド・０２９０３・プロヴィデンス・ウエスト・エクスチェンジ・ストリート・２７２・スイート・３００
(74)代理人　100108453
弁理士　村山　靖彦
(74)代理人　100110364
弁理士　実広　信哉
(74)代理人　100133400
弁理士　阿部　達彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ショット材及びショットピーニング法

(57)【要約】
金属合金粒子を加工物に投射する工程を含む、加工物をショットピーニングする方法であって、前記金属合金粒子が、Ｂ、Ｃ、Ｃｒ、及びＮｂと組み合わせてＦｅを含み、Ｆｅが、５０．０原子パーセントよりも大きいレベルで存在する方法。金属合金粒子は、少なくとも１１５０のビッカーズ硬さ（ＨＶ）及び２００ＧＰａよりも大きい弾性率を有する。

【特許請求の範囲】
【請求項１】
金属合金粒子を加工物に投射する工程を含む、加工物をショットピーニングする方法であって、前記金属合金粒子が、Ｂ、Ｃ、Ｃｒ、及びＮｂと組み合わせてＦｅを含み、前記Ｆｅが、５０．０原子パーセントよりも大きいレベルで存在し、前記金属合金が、少なくとも１１５０のビッカーズ硬さ（ＨＶ）及び２００ＧＰａよりも大きい弾性率を有する方法。
【請求項２】
前記金属合金が、１１５０～１４００のＨＶを有する、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記金属合金が、２００ＧＰａよりも大きく３５０ＧＰａまでの範囲の弾性率を有する、請求項１に記載の方法。
【請求項４】
前記金属合金が、
Ｆｅ：　５９．０～６４．０原子％
Ｂ：　１７．５～１８．８原子％
Ｃ：　４．４～５．１原子％
Ｃｒ：　１２．７～１３．１原子％
Ｎｂ：　１．４～１．７原子％
を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項５】
前記粒子の９５％が、４０μｍから２５０μｍの範囲のサイズを有する、請求項１に記載の方法。
【請求項６】
前記粒子が、下記の粒径分布、
Ｄ１０：　５０μｍ
Ｄ５０：　８０μｍ
Ｄ９０：　１５０μｍ
を有する、請求項１に記載の方法。
【請求項７】
７５ミクロン未満の粒子の重量分率が、前記粒子を前記加工物に投射した後に７．０％以下である、請求項１に記載の方法。
【請求項８】
前記ショットが、５００から１０００の範囲のＨＶを有する金属物質に投射される、請求項１に記載の方法。
【請求項９】
前記合金が、α－Ｆｅ及び／又はγ－Ｆｅと、下記
（１）複合ホウ化物、
（２）複合炭化物、又は
（３）ホウ炭化物
の１種又は複数とを含む、請求項１に記載の方法。
【請求項１０】
前記合金が、
Ｆｅ：　５８．０～６５．０原子％
Ｂ：　１４．０～１９．０原子％
Ｃ：　４．４～５．５原子％
Ｃｒ：　７．０～１３．５原子％
Ｎｂ：　１．４～３．５原子％
を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項１１】

前記粒子が、下記の粒径分布
Ｄ１０：　５０～１００μｍ
Ｄ５０：　１００～１５０μｍ
Ｄ９０：　１５０～２００μｍ
を有する、請求項１に記載の方法。
【請求項１２】
前記粒子が、予備調整された鋼加工物に０．５５ＭＰａの圧力で投射されたとき、１８．０時間の期間後に、７５．０μｍ未満の粒子の画分に関連した２０．０％以下の質量損失を示す、請求項１に記載の方法。
【請求項１３】
前記粒子が、予備調整された鋼加工物に０．２８ＭＰａの圧力で投射されたとき、６時間の期間後に、７５．０μｍ未満の粒子の画分に関連した１５．０％以下の質量損失を示す、請求項１に記載の方法。
【請求項１４】
前記加工物が、歯車部品、カム、カム軸、クラッチばね、コイルばね、連接棒、クランク軸、ギアホイール、重ね板ばね、懸架ばね、スレッド、削岩機、タービン翼、又はエンジンバルブばねの１種を構成する、請求項１に記載の方法。
【請求項１５】
Ｂ、Ｃ、Ｃｒ、及びＮｂと組み合わせてＦｅを含有する金属合金粒子を含む、ショットピーニング材であって、前記Ｆｅは、５０．０原子パーセントよりも大きいレベルで存在し、前記金属合金は、少なくとも１１５０のビッカーズ硬さ（ＨＶ）及び２００ＧＰａよりも大きい弾性率を有するショットピーニング材。
【請求項１６】
前記金属合金が、１１５０～１４００のＨＶを有する、請求項１５に記載のショットピーニング材。
【請求項１７】
前記金属合金が、２００ＧＰａよりも大きく３５０ＧＰａまでの範囲の弾性率を有する、請求項１５に記載のショットピーニング材。
【請求項１８】
前記金属合金が、
Ｆｅ：　５９．０～６４．０原子％
Ｂ：　１７．５～１８．８原子％
Ｃ：　４．４～５．１原子％
Ｃｒ：　１２．７～１３．１原子％
Ｎｂ：　１．４～１．７原子％
を含む、請求項１５に記載のショットピーニング材。
【請求項１９】
前記粒子の９５％が、４０μｍから２５０μｍの範囲のサイズを有する、請求項１５に記載のショットピーニング材。
【請求項２０】
前記合金が、
Ｆｅ：　５８．０～６５．０原子％
Ｂ：　１４．０～１９．０原子％
Ｃ：　４．４～５．５原子％
Ｃｒ：　７．０～１３．５原子％
Ｎｂ：　１．４～３．５原子％
を含む、請求項１５に記載のショットピーニング材。
【請求項２１】
前記粒子が、下記の粒径分布
Ｄ１０：　５０～１００μｍ

Ｄ５０：　１００～１５０μｍ
Ｄ９０：　１５０～２００μｍ
を有する、請求項１５に記載のショットピーニング材。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
関連出願の相互参照
本出願は、２０１４年2月１４日に出願した米国仮出願第６１／９４０，１４０号の利益を主張するものである。
【０００２】
本発明は、ショットピーニング用のショット材と、ショットピーニング法と、その方法によって得られた処理物品とに関する。
【背景技術】
【０００３】
ショットピーニングは、繰返し荷重、摩耗、及び腐食と、その他の寿命を短縮する作用の下に供される、ほとんど金属の構成要素又は加工物の、耐性を高める目的を持つ機械的表面処理である。ショットピーニングプロセス中、ショット媒体とも呼ばれる研磨媒体を、加工物の表面へと推進させる。媒体の衝撃が、加工物の表面に窪みを作る。加工物の窪みの下の復元力は、圧縮で比較的高い応力がかかった材料の半球をもたらし、ピーニングプロセス中に窪みが重なるにつれて、ピーニングされた表面全体に圧縮残留応力場が発生する。そのような発生した圧縮応力は、広く様々な利益を加工物に提供することができる。例えば、加工物の有用な寿命は、応力亀裂による腐食、摩擦、キャビテーション、かじり、浸食、及び摩耗、並びにこれらの種類の応力の組合せによって引き起こされた、繰り返される荷重又は応力の下で延びる可能性がある。一般にこれらの利益は、加工物の表面での圧縮応力の存在によって引き起こされると想定されるが、それはそのような応力が、表面亀裂形成又は亀裂伝搬の傾向を低減させるからと考えられる。
【０００４】
報告されたショットピーニング媒体は、（１）炭化物、炭化物複合体、又はサーメット（セラミック（ｃｅｒ）及び金属（ｍｅｔ）材料から構成された複合材料）；（２）例えば、Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ社製のＭｉｃｒｏｂｌａｓｔ（登録商標）Ｂ－１２０又はＺｉｒｂｌａｓｔ（登録商標）Ｂ－３０若しくはＢ－４００など、セラミックビーズ又はセラミックショットとして市販されているジルコニアなどのセラミックを含む。
【０００５】
金属をベースにしたピーニング媒体は、米国特許第６，６５８，９０７号明細書に報告されている。鉄をベースにした非晶質球状粒子が、好ましくは４５から５５重量％の鉄含量を有すると言われ且つビッカーズ硬さ（ＨＶ）が９００～１１００の範囲でありヤング率が２００，０００ＭＰａ以下である、ピーニング材として用いられる。
【０００６】
米国特許出願公開第２０１１／０２６５５３５号明細書は、Ｂを5から8質量％、Ｃを０．００５～１質量％、Ｃｒを0から２５質量％、残分としてＦｅ及び不可避の不純物を含み、但しＢ及びＣが８．５％以下の総量で含有される、鉄をベースにしたショットピーニング材を開示する。５％未満のＢ含量は、不十分な硬さをもたらすと記載された。
【０００７】
国際公開第２００９／１３３９２０号明細書は、Ｂ（５～８質量％）、Ａｌ（１０質量％以下、好ましくは０．５～１０質量％）、Ｃｒ（０～２５質量％、好ましくは１～２５質量％）、残分としてＦｅ及び不可避の不純物で作製された、鉄をベースにしたショット材を開示する。ＨＶは、報告によれば１１５０～１３００に及んだ。
【０００８】
国際公開第２０１２／１２８３５７号明細書は、Ｂを２～８質量％と、式：　０≦（Ｔｉ％／１０）＋（Ｃｒ％／２５）＋（Ｍｏ％／１０）＋（Ｗ％／６）＋（Ｎｉ％／１０）

＋（Ａｌ％／１０）＋（Ｃ％／１）≦１．００を満たす量のＴｉ、Ｃｒ、Ｍｏ、Ｗ、Ｎｉ、Ａｌ、及びＣａから選択される少なくとも１種の元素と、Ｆｅ及び不可避の不純物で構成された残分とを含有し、且つ粒径が７５μｍ以下である、ショットピーニング材を開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００９】

【特許文献１】米国特許第６，６５８，９０７号明細書

【特許文献２】米国特許出願公開第２０１１／０２６５５３５号明細書

【特許文献３】国際公開第２００９／１３３９２０号明細書

【特許文献４】国際公開第２０１２／１２８３５７号明細書

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【００１０】

金属合金粒子を加工物に投射する工程を含む、加工物をショットピーニングする方法であって、前記金属合金粒子が、Ｂ、Ｃ、Ｃｒ、及びＮｂと組み合わせてＦｅを含み、Ｆｅが、５０．０原子パーセントよりも大きいレベルで存在し、前記金属合金が少なくとも１１５０のビッカーズ硬さ（ＨＶ）及び２００ＧＰａよりも大きい弾性率を有する方法。本発明は、上記参照される方法によって処理された加工物も含む。

【００１１】

本発明は、Ｂ、Ｃ、Ｃｒ、及びＮｂと組み合わせてＦｅを含有する金属合金粒子を含み、Ｆｅが５０．０原子パーセントよりも大きいレベルで存在し、前記金属合金が少なくとも１１５０のビッカーズ硬さ（ＨＶ）及び２００ＧＰａよりも大きい弾性率を有する、ショットピーニング材そのものにも関する。

【００１２】

以下の詳細な記述は、例示の目的で提供され且つ本発明をいかなる態様にも限定するものではない添付図を参照することによって、より良好に理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】ショットピーニング用のエアブラストキャビネットの概略図である。

【図２】比較ピーニング強度飽和曲線をプロットした図である。

【図３】特定された加工物に関する比較残留応力場をプロットした図である。

【図４】比較加工物硬さ値をプロットした図である。

【図４Ａ】特定された加工物に関する残留応力場をプロットした図である。

【図４Ｂ】比較加工物硬さ値をプロットした図である。

【図４Ｃ】ピーニング強度飽和曲線の比較プロットである。

【図４Ｄ】特定された加工物に関する残留応力場をプロットした図である。

【図４Ｅ】比較加工物硬さ値の比較プロットである。

【図４Ｆ】ピーニング強度飽和曲線の比較プロットである。

【図５】ピーニング強度飽和曲線の比較プロットである。

【図６】比較ピーニング強度飽和曲線をプロットした図である。

【図７】ピーニング強度飽和付近の比較加工物硬さ値をプロットした図である。

【図８】指示された粒子に関する比較質量損失をプロットした図である。

【図９】Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｂ１２０粒子に対し、１．０時間及び６．０時間で本発明の粒子に関する比較質量損失をプロットした図である。

【図１０】質量損失の比較プロットである。

【図１１】ピーニング強度飽和曲線の比較プロットである。

【図１２】ピーニング強度飽和曲線の比較プロットである。

【図１３】ピーニング強度飽和付近の比較加工物硬さ値をプロットした図である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】
上述のように、本発明は、比較的高い硬さ及び耐久性を提供するショットピーニング媒体に関する。合金は、一般にＦｅをベースにすると理解され、Ｂ、Ｃ、Ｃｒ、及びＮｂを含む。任意選択の元素には、Ｍｎ、Ｓｉ、及びＶが含まれる。Ｆｅベースと言った場合には、合金組成物の大部分が鉄を含むこと（例えば、＞５０．０原子パーセントのＦｅ）を特徴とすると理解することができる。更に合金は、α－Ｆｅ（フェライト）及び／又はγ－Ｆｅ（オーステナイト）を好ましくは含むものである。合金は、好ましくは、下記：（１）複合ホウ化物（例えば、M_1B、M_2B、及びM_3Bであり、但しＭは遷移金属である。）；（２）複合炭化物（例えば、M_1C、M_2C、M_3C、及び$M_{23}C_6$であり、但しＭは遷移金属である。）；（３）ホウ炭化物（ホウ化物及び炭化物原子の両方を含有する材料）の、１種又は複数も含む。

【００１５】
好ましくは、合金組成物は、下記の表１に特定される濃度から構成される：

【００１６】
【表１】
［表１］好ましい合金組成

単位	Fe	B	C	Cr	Nb	Mn	Si
原子%	59.0-64.0	17.5-18.8	4.4-5.1	12.7-13.1	1.4-1.7	0-0.5	0-1.3
重量%	74.2-77.6	4.1-4.5	1.2-1.4	14.3-15.1	2.9-3.5	0-0.6	0-0.8

【００１７】
上記に加え、本明細書の合金は、好ましくは、原子パーセントを単位として下記の組成：　Ｆｅ（５８．０～６５．０）；　Ｂ（１４．０～１９．０）；　Ｃ（４．０～５．５）；　Ｃｒ（７．０～１３．５）；　Ｍｎ（０～１．５）；　Ｎｂ（１．４～３．５）；　Ｓｉ（０～１．５）、及びＶ（０～６．０）を有していてもよい。

【００１８】
本明細書の合金は、好ましくは噴霧化法によって粒子として調製される。例示的な噴霧化手順は、気体噴霧化、遠心力噴霧化、又は水噴霧化を含む。次いで粒子を、スクリーニング、分類、及び空気分級などの様々な技法を使用して、サイズ決めしてもよい。好ましくは粒子は、その粒子の９５％が４０μｍから２５０μｍの範囲内にあるサイズ範囲（粒子内を通る最大直線寸法）を有するようなものである。したがって、粒子の約５％は、この範囲外に含まれる可能性があり、０．１～３９．９μｍの範囲の粒径分布を示す。より好ましくは、ミクロンを単位とするＤ１０値（この数よりも下にサイズ決めされた粒子を有する集団のパーセント）は、５０．０μｍである。好ましいＤ５０値（メジアン）は８０μｍであり、好ましいＤ９０値（この数よりも下の分布の９０パーセント）は１５０μｍである。

【００１９】
更に、ミクロンを単位とするＤ１０値は５０～１００の範囲に包含されてもよく、Ｄ５０値は１００～１５０の範囲に包含されてもよく、Ｄ９０値は１５０～２００の範囲に包含されてもよい。

【００２０】
上述の粒子に関連して、好ましくは、粒子は球形の幾何形状を有する。これは、３次元空間内の所与の点から全て同じ距離ｒにある、ひと組の点を有する形状と理解することができる。ｒの値は半径である。やはり考えられる、比較的それほど球状ではない構成は、比較的、より角度の付いたグリットと呼ばれる形状を含む。

【００２１】
合金は、粒子が少なくとも約１１５０のＨＶ値を示すようなものである。好ましくは、ＨＶ値は１１５０～１４００の範囲にあってもよい。より好ましくは、ＨＶ値は１２５０

＋／－７５である。したがってＨＶ値は、好ましくは１１７５から１４００の範囲内にあってもよい。更に粒子は、それらが２００ＧＰａよりも大きい、より好ましくは２００ＧＰａから３５０ＧＰａまでの範囲にある弾性率を有するようなものである。

【００２２】

本明細書の粒子の別の特徴は、それらに関連した耐久性である。その文脈において、本明細書の耐久性は、下記の条件範囲：投射圧力０．１３ＭＰａから０．８２ＭＰａ、ピーニング速度８０ｍ／ｓから３５０ｍ／ｓ、及びアルメンＡ強度２～１２ｍｉｌの下、粒子を加工物に向かって投射することにより特徴付けられた。加工物までの距離は、７６～１５３ｍｍの範囲にある。次いで加工物及び媒体を、試験前の１５分間にわたり予備調整する。加工物は、硬さが６９７ビッカーズである、約１３％のマンガンを含有する厚さ６．３５ｍｍの鋼合金である。１８時間にわたる加工物へのそのような投射後の金属粒子は、粒子の１００グラム部に関し、存在する７５μｍ未満の粒子の重量分率が７．０％以下であるようなものである。

【００２３】

本明細書の粒子は、空気ノズル型システム又は遠心式ホイールベースシステムなど、運動エネルギーを粒子に与えるのに使用される異なる２種の装置用デバイスにおいて用い得る。本明細書に列挙される実施例は、空気ノズルシステム（図１）によって実行した。より詳細には、Ｋｅｌｃｏエアブラストキャビネットを、下記のパラメータ：ノズル型：出口径が７．９３７５ｍｍのベンチュリ；加工物までの距離１０１．６ｍｍ；質量流量２．６３ｋｇ／分と共に用いた。しかし、開示された利益の全ては、ホイールベースシステムで観察され得ると考えられる。更に、本明細書の粒子は、実施例では指示される特性を有する加工物に適用されるが、衝突する粒子による処理の利点が有益なものとされ得る任意の加工物に適用可能と考えられる。

【００２４】

本発明の実施例は、様々なショットピーニング媒体と比較したものを、以下に提示する。しかしここでは、本明細書の比較的高い硬さ及び耐久性のショットピーニング媒体が、任意の加工物の砂除去、スケール除去、及びコーティング前エッチングを含むがこれらに限定することなのないショットピーニング以外のプロセスに、並びに水噴射又はその他の切断及び鋸引き適用例に、適用可能になると理解することができる。

【００２５】

（実施例）

（実施例１及び１Ａ）

本発明（実施例１）の金属研磨媒体を、ピーニング媒体として採用し、そのようなものとして試験をした。球状の鉄をベースにした粒子は、クロム１２．７原子％、ホウ素１８．８原子％、ニオブ１．５原子％、炭素４．６原子％、マンガン０．３原子％、ケイ素０．８原子％、及び残分（６１．３原子％）としての鉄から構成され、比重は７．３６ｇ／ｃｍ^3、硬さは１２８４ビッカーズである。粒子は、Ｄ１０が５２マイクロメートルに等しく、Ｄ５０が８３マイクロメートルに等しく、Ｄ９０が１４２マイクロメートルに等しい粒径分布を有していた。

【００２６】

本発明のその他の金属研磨媒体も調製した。詳細には、実施例１Ａは、クロム７．７７原子％、ホウ素１４．７３原子％、Ｎｂ　２．６８原子％、Ｃ　５．４５原子％、Ｓｉ　１．１７原子％、Ｖ　４．６８原子％、及び鉄６２．４５原子％から構成される。実施例１Ｂは、実施例１と同じ合金組成を有する。

【００２７】

比較のため、２種の商用のピーニング媒体を最初に用いた：（１）Ｓｉｎｔｏ　Ｍｉｃｒｏｓｈｏｔ　ＳＢＭ－１００Ｃ、比重７．６ｇ／ｃｍ^3、硬さ７２９ビッカーズであり、粒径分布は、Ｄ１０が１００マイクロメートルに等しく、Ｄ５０が１３２マイクロメートルであり、Ｄ９０が１８３マイクロメートルに等しく；（２）Ｓｉｎｔｏ　ＡＭＯ　Ｂｅａｄｓ　ＡＭ－１００、比重７．４ｇ／ｃｍ^3、ビッカーズ硬さ７８８であり、粒径分

布は、Ｄ１０が６４マイクロメートルに等しく、Ｄ５０が９２マイクロメートルであり、Ｄ９０が１３４マイクロメートルに等しい。

【００２８】

上記言及されたショット媒体粒子硬さ試験は、ビッカーズダイヤモンド圧子を備えたＴｕｋｏｎ　２５００　Ｋｎｏｏｐ／Ｖｉｃｋｅｒｓ自動化硬さ試験機（２０００×光学系）を使用して行った。粒子試験体は、それらをエポキシ樹脂と添加混合し、硬化し、次いで混合物を研磨して、粒子断面を露出させることによって調製した。試験荷重１００ｇを使用し、下記の表２に示されるように、１２の圧痕の平均値を報告した。

【００２９】

【表２】

［表２］

ショット媒体	HV
実施例 1	1284
実施例 1A	1236
実施例 1B	1176
Sinto Micro shot SBM-100C	729
Sinto AMO BEAD™ AM-100	788
Saint Gobain Microblast™ B120	692

【００３０】

粒径分布を、Ｍｉｃｒｏｔｒａｃ　Ｓ３５００レーザ回折分析機を使用して決定した。分布を、下記の表３に示す。

【００３１】

【表３】

［表３］

ショット媒体	D10(μm)	D50(μm)	D90(μm)
実施例 1	52	83	142
実施例 1A	77	118	184
実施例 1B	93	129	178
Sinto Micro shot SBM-100C	100	132	183
Sinto AMO BEAD™ AM-100	68	92	134
Saint Gobain Microblast™ B120	79	105	148

【００３２】

実施例１の粒子の弾性率を、ナノ計装化圧痕試験機（ｎａｎｏ　ｉｎｓｔｒｕｍｅｎｔｅｄ　ｉｎｄｅｎｔａｔｉｏｎ　ｔｅｓｔｅｒ：　ＩＩＴ）を使用して次に決定する。粒子試験体は、粒子とエポキシ樹脂とを混合し、硬化し、次いで混合物を研磨して、粒子の断面を露出させることによって調製した。各サンプルごとに４個の粒子を、試験用に選択した。サンプル内の圧痕の位置は、粒子の縁部に近付き過ぎないように決めたが、それ以外については、他の基準を用いて特に選択しなかった。各試験は、ダイヤモンドＢｅｒｋｏｖｉｃｈ（三角錐）圧子を使用して、２０の荷重増分を用いて最大２０ｍＮまで行い、次いで２０の荷重除去減分を用いて行った。圧痕データを、従来の「Ｏｌｉｖｅｒ及びＰｈａｒｒ」技法を使用して分析した。データは、圧子の初期貫入、荷重枠のコンプライアンス、及び使用した圧子の面積関数に対して補正した。この計器は、荷重及び変位の国家規格に由来する、こうした量の計測により較正した。実施例１は、弾性率（ポアソン比０．３と仮定）２４６ＧＰａ±４４．５８を有することを決定した。

【００３３】

一般に、本明細書で用いてもよい加工物は、好ましくは、ＨＶ値が５００～１０００の金属型加工物を含む。そのような加工物は、金属シート、コイル、ばね、金属鍛造、又は管を含むがこれらに限定されない様々な幾何学的形態にあってもよい。したがって本明細書において、本明細書で特定された粒子を利用するショットピーニング法は、全体的な摩耗特性の増強を含めた任意の目的でショットピーニングが利用される、任意の加工物に適用してもよいと考えられる。

【００３４】

評価の目的で、ＳＡＥ　１０７０鋼アルメンＡ（７６ｍｍ×１９ｍｍ×１．２９５±０．０２５ｍｍ厚さ）細片及びアルメンＮ（７６ｍｍ×１８ｍｍ×０．７８５±０．０２５ｍｍ厚さ）細片であって、硬さが４７２ビッカーズであり表面粗さ平均（Ｒａ）が０．１０６マイクロメートルであるものを、加工物として選択した。アルメン細片は、当技術分野では、ショットピーニングプロセスの強度を定量するのに使用する。ピーニング操作によって誘発された圧縮応力は、細片をアーチ状に変形させ、その最大曲率点を、この測定用に特に設計されたゲージを使用して測定する。設定されたピーニングパラメータの下で生成された連続アルメン細片からのアーチの高さを、時間の関数としてプロットして、ピーニング強度飽和を決定する。ピーニング強度飽和は、第１の点、即ちピーニング時間が２倍になったときに、その点を超えてアーク高さが１０パーセント以下増加する第１の点と定義される。

【００３５】

したがってピーニング強度飽和は、５、１０、２０、及び４０秒のピーニング増分の後に、アルメン細片のアーク高さを測定することによって決定した。測定値は、較正済みＥｌｅｃｔｒｏｎｉｃｓ　Ｉｎｃ．　Ａｄｖａｎｃｅｄ　Ａｌｍｅｎ　Ｇａｇｅを使用して得た。ピーニング強度飽和は、Ｓａｔｕｒａｔｉｏｎ　Ｃｕｒｖｅ　Ｓｏｌｖｅｒソフトウェア、Ｒｅｌｅａｓｅ　９を使用して計算した。ピーニング後の最大表面下残留圧縮応力は、１２．７、２５．４、５０．８、１０１．６、及び１２７．０マイクロメートルでプロファイリングすることにより、Ｘ線回折（ＸＲＤ）によって決定した。ＸＲＤピーク幅を、各プロファイルごとに硬さに変換した。

【００３６】

表面粗さ測定値は、Ｍｉｔｕｔｏｙｏ　ＳＪ－２１０計器を使用して得た。

【００３７】

加工物のピーニング後残留応力場は、１２．７、２５．４、５０．８、１０１．６、及び１２７．０マイクロメートルでプロファイリングすることにより、ＳＡＥ　ＨＳ－７８４／２００３に従ってＸ線回折（ＸＲＤ）により決定した。Ｘ線回折（ＸＲＤ）を使用して残留応力を測定する際、結晶格子内の歪みを測定し、それに関連した残留応力を、適切な結晶格子面の線形弾性歪みを想定して弾性定数から決定する。ＸＲＤは、クロム照射によるＴＥＣ１６３０を使用して、１５５°２θのピークで、且つ４ｍｍ直径の丸形コリメータで行った。回折ピークに対する放物線の当て嵌めを使用し、ＳＡＲＡＴｅｃソフトウェアを使用してピークのＫα２成分を差し引いた。層除去及びビームの指数関数的浸透（応力勾配効果）を明らかにする補正も適用した。硬さは、１２．７及び１２７マイクロメートルの深さで、微小硬さ測定によって較正されたピーク幅によって決定した。

【００３８】

ショットピーニングは、下記のパラメータ：投射圧力０．５５ＭＰａ；出口径７．９３７５ｍｍのベンチュリノズル；加工物までの距離１０１．６ｍｍ；及び質量流量２．６３ｋｇ／分を使用する、Ｋｅｌｃｏエアブラスト装置を使用して実施した。再び図１を参照されたい。

【００３９】

ピーニング試験の結果を下記の表４にまとめ、比較ピーニング強度飽和曲線を図２に示し、比較残留応力場を図３に示し、加工物の、対応する比較硬さ値を図４に示す。

【００４０】

【表４】
［表４］

	ピーニング強度(アルメンＡアーチ高さ)(ミル)	飽和時間(秒)	ピーニング時間(秒)	表面粗さ(Ra/μm)	表面硬さ(HV)	加工物の最大残留圧縮応力(MPa)
実施例 1	5.82	5.72	5	2.372	525	726
			10	2.657	526	697
			20	2.332	528	702
			40	2.234	543	685
実施例 1A	6.14	16.39	20	1.549	581	982
実施例 1B	8.56	14.48	20	3.261	586	686
Sinto SBM-100C	4.95	9.02	5	1.188	514	705
			10	1.666	514	635
			20	1.66	524	684
			40	1.516	524	684
Sinto AM-100	3.5	5.19	5	2.168	526	655
			10	2.058	532	662
			20	2.019	538	643
			40	1.980	532	632

【００４１】
表４から、Ｓｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃの表面粗さは実施例１の場合よりも低いが、最大残留圧縮応力も、ほぼ等しい表面硬さで低くなることがわかる。これは、ピーニング飽和時間に対する、飽和時のピーニング強度（アルメン強度（アーチ高さ））の比較にも反映される。更に、Ｓｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃに関する９．０２秒のより長い飽和時間対実施例１の飽和時間（５．８２秒）と、ピーニング強度飽和時間付近での商用のＳｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃのより低い最大残留圧縮応力（１０秒で６３５ＭＰａ）対実施例１の最大残留圧縮応力（５秒で７２６ＭＰａ）は、より低い投射圧力を、Ｓｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃの場合に等しい最大残留応力に関して本明細書に開示された合金で使用することができ、それによってコストが削減されると推論する。同じ結論は、ピーニング飽和時間付近での商用Ｓｉｎｔｏ　ＡＭ－１００の最大圧縮応力（５秒で６５５ＭＰａ）対本発明の実施例１の最大圧縮応力（５秒で７２６ＭＰａ）を比較したときに引き出すことができる。これも、ピーニング強度飽和付近での、ＸＲＤ厚さ方向残留応力場プロファイルをプロットした、図３に反映される。図４は、ピーニング強度付近での厚さ方向硬さプロファイルのプロットであり、実施例１の加工物が、Ｓｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃ及びＳｉｎｔｏ　ＡＭ－１００と同じ手法で表面を硬化させるという証拠を提供する。

【００４２】
表４から、市販のＳｉｎｔｏ製品と比較した場合、その比較はアルメン飽和に到達したその時点でもっとも関連あるものと見なされることを、同様に留意すべきである。したがって、２０秒のピーニング時間での実施例１Ａの表面粗さは、１０秒のピーニング時間でのＳｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃの場合よりも低く、より高い最大残留圧縮応力は、Ｓｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃの場合に対して実施例１Ａで実現されることがわかる。更に、ピーニング強度はＳｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃの場合よりも実施例１Ａで高いので、表４に示されるように、より深い残留圧縮応力が示唆される。これは、実施例１Ａ及びＳｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃの両方に関する飽和付近でのＸＲＤプロファイル残留応力場、

図４、及び硬さプロット、図４Ｂを検討することによって確認される。更に、実施例１Ａ及びＳｉｎｔｏｎ　ＳＢＭ－１００Ｃに関するピーニング強度飽和曲線を、図４Ｃに提示する。

【００４３】

表４から、１０秒のピーニング時間後（アルメン飽和を再び達成した後）のＳｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００の表面粗さは、２０秒後（アルメン飽和を達成した後）の実施例１Ｂの場合よりも低いことが更にわかる。しかし、ほぼ等しい最大残留圧縮応力は、Ｓｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃの場合に対して実施例１Ｂで実現される。更にピーニング強度は、表４に示されるように、ほぼ等しい最大残留圧縮応力でＳｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃの場合よりも実施例１Ｂに関して高いので、より深い残留圧縮応力が示唆される。これは、実施例１Ｂ及びＳｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃの両方に関する飽和付近でのＸＲＤプロファイル残留応力場、図４Ｄ、及び硬さプロット、図４Ｅを検討することによって確認される。更に、実施例１Ｂ及びＳｉｎｔｏｎ　ＳＢＭ－１００Ｃに関するピーニング強度飽和曲線を、図４Ｆに提示する。

【００４４】

（実施例２）

実施例２では、実施例１及び実施例１Ｂの粒子を、比重３．８ｇ／ｃｍ^3、硬さ６９２ビッカーズであり且つＤ１０が７９マイクロメートルに等しくＤ５０が１０５マイクロメートルに等しくＤ９０が１４８マイクロメートルに等しい粒径分布を有する、商用ジルコニアセラミックピーニング媒体、Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｍｉｃｒｏｂｌａｓｔ（登録商標）Ｂ１２０との比較のために試験した。硬さが４７２ビッカーズであり表面粗さ平均（Ｒａ）が０．１０６マイクロメートルであるＳＡＥ　１０７０鋼アルメンＮ（７６ｍｍ×１８ｍｍ×０．７８５±０．０２５ｍｍ厚さ）細片を、加工物として選択した。ショットピーニングは、下記のパラメータ：投射圧力０．２８ＭＰａ；出口径が７．９３７５ｍｍのベンチュリノズル；加工物までの距離１０１．６ｍｍ；及び質量流量２．６３ｋｇ／分を使用する、Ｋｅｌｃｏエアブラスト装置を使用して実施した。ピーニング強度飽和は、５、１０、２０、及び４０秒のピーニング増分後の、アルメン細片のアーチ高さを測定することによって決定した。測定値は、較正済みＥｌｅｃｔｒｏｎｉｃｓ　Ｉｎｃ．Ａｄｖａｎｃｅｄ　Ａｌｍｅｎ　Ｇａｇｅを使用して得た。ピーニング強度飽和は、Ｓａｔｕｒａｔｉｏｎ　Ｃｕｒｖｅ　Ｓｏｌｖｅｒソフトウェア、Ｒｅｌｅａｓｅ　９を使用して計算した。ピーニング後の最大表面下残留圧縮応力は、１２．７、２５．４、５０．８、１０１．６、及び１２７．０マイクロメートルでのプロファイリングによるＸ線回折（ＸＲＤ）によって決定した。ＸＲＤピーク幅を、各プロファイルごとに硬さに変換した。ピーニング試験の結果を表５にまとめる。実施例１の場合、比較ピーニング強度飽和曲線を図５に示し、比較残留応力場を図６に示し、対応する比較硬さを図７に示す。実施例１Ｂの場合、比較ピーニング飽和曲線を図１１に示し、比較残留応力場を図１２に示し、対応する比較硬さを図１３に示す。

【００４５】

【表５】
［表５］

	ピーニング強度 (アルメンＡアーチ高さ) (ミル)	飽和時間 (秒)	ピーニング時間 (秒)	表面粗さ (Ra/μm)	表面硬さ (HV)	加工物の最大残留圧縮応力 (MPa)
実施例 1	3.14	6.17	5	1.524	509	669
			10	1.42	515	643
			20	1.485	516	587
			40	1.679	527	534
実施例 1B	7.03	16.35	20	1.341	540	671
Saint Gobain B120	3.09	13.42	5	0.931	500	679
			10	0.872	497	701
			20	0.903	505	612
			40	0.894	513	555

【００４６】
表５から、Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｂ１２０の表面粗さは実施例１の場合よりも低いが、ほぼ等しい表面硬さ及び最大残留圧縮応力は、Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｂ１２０の場合に対して実施例１で実現されることがわかる。更に、ピーニング強度はＴａｂｌｅ　５（表５）に示されるように、ほぼ等しい最大残留圧縮応力でＳａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｂ１２０の場合よりも実施例１で高いので、より深い残留圧縮応力が示唆される。これは、実施例１及びＳａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ（登録商標）Ｂ１２０の両方に関する飽和時のＸＲＤプロファイルの残留応力場、図６、及び硬さプロット、図７を検討することによって確認される。
【００４７】
表５から、Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｂ１２０の表面粗さは実施例１Ｂの場合よりも低いが、ほぼ等しい最大残留圧縮応力は、Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｂ１２０の場合に対して実施例１Ｂで実現されることもわかる。更にピーニング強度は、表５に示されるように、ほぼ等しい最大残留圧縮応力でＳａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｂ１２０の場合よりも実施例１Ｂで高いので、より深い残留圧縮応力が示唆される。これは、実施例１Ｂ及びＳａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｂ１２０の両方に関して飽和時のＸＲＤプロファイルの残留応力場、図１２、及び硬さプロット、図１３を検討することによって確認される。
【００４８】
（実施例３）
実施例３では、７５マイクロメートル未満の微細物質を除去するよう篩にかけられた実施例１及び１Ｂの耐久性を、Ｓｉｎｔｏ　Ｍｉｃｒｏｓｈｏｔ　ＳＢＭ－１００、Ｓｉｎｔｏ　ＡＭＯ　Ｂｅａｄ　ＡＭ－１００、及びＳａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｍｉｃｒｏｂｌａｓｔ（登録商標）Ｂ１２０の耐久性と比較して、試験をした。ショットピーニングは、下記のパラメータ：投射圧力：０．５５ＭＰａ；出口径が７．９３７５ｍｍのベンチュリノズル；加工物までの距離１０１．６ｍｍ；及び質量流量２．６３ｋｇ／分を使用する、Ｋｅｌｃｏエアブラスト装置を使用して実施した。ピーニング媒体の耐久性を試験するには、好ましくは、予備調整された媒体を使用してある期間にわたってピーニングされた６．３５ｍｍの厚さのＨａｄｆｉｅｌｄ　Ｍａｎｇａｎｅｓｅ加工物を用いる。Ｈａｄｆｉｅｌｄ　Ｍａｎｇａｎｅｓｅ加工物は、０．８～１．２５重量％の炭素を１１～１５重量％のマンガンと共に含有する鋼を合金にすることによって作製される。加工物は、１２０，０００ｐｓｉ～１４０，０００ｐｓｉの最終引張り強さ、６５，０００ｐｓｉ～８５，０００ｐｓｉの降伏強さを有する。加工物は、好ましくは、１８０～２４５の初期ＨＢ

硬さ値から、加工硬化状態で＞５００のＨＢ硬さ値までも有することになる。予備調整は、媒体を試験する前に１５分間、各媒体で加工物をピーニングすることによって行う。耐久性は、６、１２、１８、及び２４時間のピーニング増分時、７５マイクロメートルよりも下の媒体を秤量することによって評価した。これは、設計された時間間隔でショットの１００ｇのサンプルを除去し、１００ｇ質量を篩にかけ、直径７５マイクロメートル未満の粒子の画分を秤量して、破砕された材料の重量パーセントを特定することによって行った。この試験の結果を表６に示す。

【００４９】

【表６】

［表６］

	時間 (時)	質量損失 (%)
本発明の実施例 1	1	0.30
	6	2.00
	12	5.00
	18	6.20
本発明の実施例 1B	1	0.7
	6	3.1
	12	3.8
	18	5.2
Sinto AM-100	6	17.70
	12	27.30
	18	32.60
Sinto SBM-100C	6	8.00
	12	36.00
	18	57.00
Saint Gobain B120	1	20.00
	6	98.00
	18	N/A

【００５０】

表６から、実施例１及び１Ｂは、商用サンプルの全てと比較して、特にＳａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｍｉｃｒｏｂｌａｓｔ（登録商標）Ｂ１２０と比較して、優れた耐久性を有することが観察される。Ｓｉｎｔｏ　ＡＭ－１００及びＳｉｎｔｏ　ＳＢＭ－１００Ｃと比較した実施例１及び１Ｂに関する質量損失を、図８のグラフに示す。実施例１及び１Ｂに関する質量損失（Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｍｉｃｒｏｂｌａｓｔ（登録商標）Ｂ１２０と比較して）を、図９のグラフに示す。

【００５１】

したがって上記データは、本明細書のショットピーニング金属合金粒子をより広く理解することができること、及びその粒子を、予備調整された鋼加工物（即ち、耐久性試験前にピーニングされた加工物）に対して０．５５ＭＰａの圧力で投射したときに１８時間の期間後に２０．０％以下又は≦１９．０％又は≦１８．０％又は≦１７．０％又は≦１６．０％又は≦１５．０％又は≦１４．０％又は≦１３．０％又は≦１２．０％又は≦１１．０％又は≦１０．０％又は≦９．０％又は≦８．０％又は≦７．０％の質量損失（７５μｍ未満の粒子の画分）を示す粒子と定義することができることを、明らかにすると理解することができる。更に粒子は、上記特定された試験条件下、最長１２時間の期間後に≦５．０％の質量損失（７５μｍ未満の粒子の画分）を示すようなものである。更に粒子は

、上記特定された試験条件下、最長６時間の期間後に≦４．０％の質量損失（７５μｍ未満の粒子の画分）を示すようなものである。最後に、粒子は、上記特定された試験条件下、≦１．０％以下の質量損失（７５μｍ未満の粒子の画分）を示すようなものである。

【００５２】

上記からわかるように、本発明は、例えばショットピーニングプロセスにおけるように金属研磨材として使用するときに、鉄をベースにし且つ比較的高い硬さ及び耐久性を組み合わせた使用金属粒子に改善をもたらす。その利益には、衝突された加工物で実現され得る性質の改善、並びに本明細書に記載される粒子の強度及び耐久性に起因した、用いられる金属粒子の寿命の長期化が含まれるが、それらに限定するものではない。

【００５３】

（実施例４）

実施例４では、７５マイクロメートル未満の微細物質を除去するよう篩にかけた実施例１の耐久性を、実施例３の場合よりも低い投射圧力で、Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｍｉｃｒｏｂｌａｓｔ（登録商標）Ｂ１２０の耐久性と比較して試験をした。ショットピーニングは、下記のパラメータ：投射圧力：０．２８ＭＰａ；出口径が７．９３７５ｍｍであるベンチュリノズル；加工物までの距離１０１．６ｍｍ；及び質量流量２．６３ｋｇ／分を使用する、Ｋｅｌｃｏエアブラスト装置を使用して実施した。ピーニング媒体の耐久性を試験するには、６．３５ｍｍの厚さのＨａｄｆｉｅｌｄ　Ｍａｎｇａｎｅｓｅ加工物（上記）を、予備調整された媒体を使用して、ある期間にわたりピーニングした。予備調整は、媒体を試験する前に１５分間各媒体で加工物をピーニングすることによって行った。耐久性は、１、３、及び６時間のピーニング増分で、７５マイクロメートルより下の媒体を秤量することによって評価した。これは、設計された時間間隔でショットの１００ｇのサンプルを除去し、１００ｇ質量を篩にかけ、直径が７５マイクロメートル未満の粒子の画分を秤量して、破砕された材料の質量パーセントを特定することによって行った。したがって、今となっては、本明細書のショットピーニング媒体の１つの特徴は、０．２８ＭＰａの圧力でＨａｄｆｅｌｄ　Ｍａｎｇａｎｅｓｅ加工物に投射されたときの、その金属合金粒子の特徴であると理解することができる。

【００５４】

【表７】

［表７］

	時間 (時)	質量損失 (%)
本発明の実施例 1	1	0
	3	0
	6	1.0
Saint Gobain B120	1	3.6
	3	7.8
	6	17.3

【００５５】

表７から、実施例１は、Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｍｉｃｒｏｂｌａｓｔ（登録商標）Ｂ１２０と比較して、優れた耐久性を有することが観察される。上記による実施例１に関する質量損失を、Ｓａｉｎｔ　Ｇｏｂａｉｎ　Ｍｉｃｒｏｂｌａｓｔ（登録商標）Ｂ１２０と比較して図１０のグラフに示す。

【００５６】

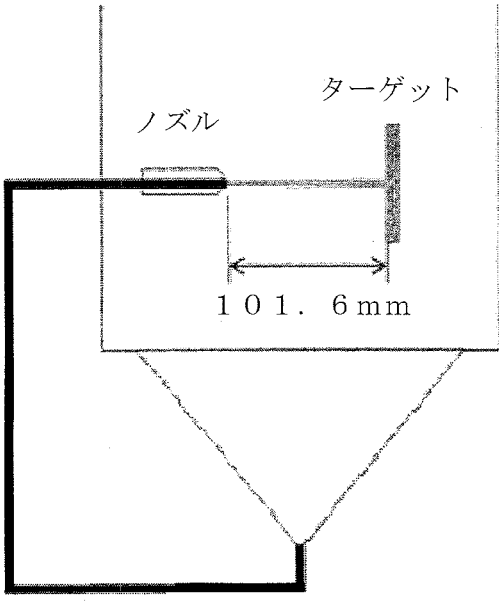
したがって上記データは、本明細書のショットピーニング金属合金粒子をより広く理解することができること、及びその粒子を、予備調整された鋼加工物（即ち、耐久性試験前にピーニングされた加工物）に対して０．２８ＭＰａの圧力で投射したときに６時間の期間後に１５．０％未満若しくはそれに等しく、又はそれよりも低く、例えば≦１４．０％

又は≦１３．０％又は≦１２．０％又は≦１１．０％又は≦１０．０％又は≦９．０％又は≦８．０％又は≦７．０％又は≦６．０％又は≦５．０％又は≦４．０％又は≦３．０％又は≦２．０％又は≦１．０％の質量損失（７５μｍ未満の粒子の画分）を示す粒子と定義することができることを、明らかにすると理解することができる。更に粒子は、上記特定された試験条件下、最長３時間の期間後に≦５．０％又は≦４．０％又は≦３．０％又は≦２．０％又は≦１．０％の質量損失（７５μｍ未満の粒子の画分）を示すようなものである。更に粒子は、上記特定された試験条件下、最長１時間の期間後に≦３．０％又は≦２．０％又は≦１．０％の質量損失（７５μｍ未満の粒子の画分）を示すようなものである。

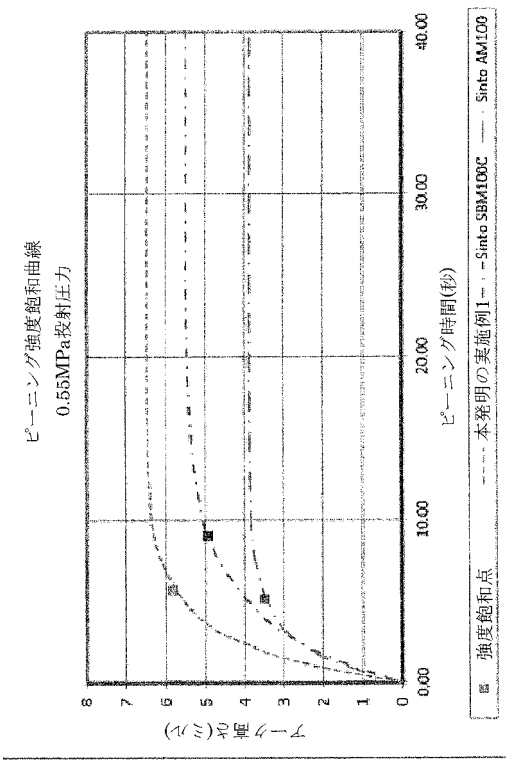
【００５７】

本明細書のショットピーニング粒子に関する適用例には、歯車部品、カム及びカム軸、クラッチばね、コイルばね、連接棒、クランク軸、ギアホイール、重ね板ばね及び懸架ばね、スレッド、削岩機、及びタービン翼が含まれるが、これらに限定するものではない。１つの特に有用な適用例は、エンジンバルブばねであって、カムがそのような弁を開いて圧力を開放するまで、それらの弁座に対してエンジンバルブばねを閉じた状態で維持するように動作するエンジンバルブばねを含むと決定された。そのようなエンジンバルブばねは、特に、ＨＲＣ　４８～５５の硬さ（ＡＳＴＭ　Ａ８７７）を有する、クロムーケイ素型バルブばね合金などの比較的高い硬さを有するエンジンバルブばねを含む。

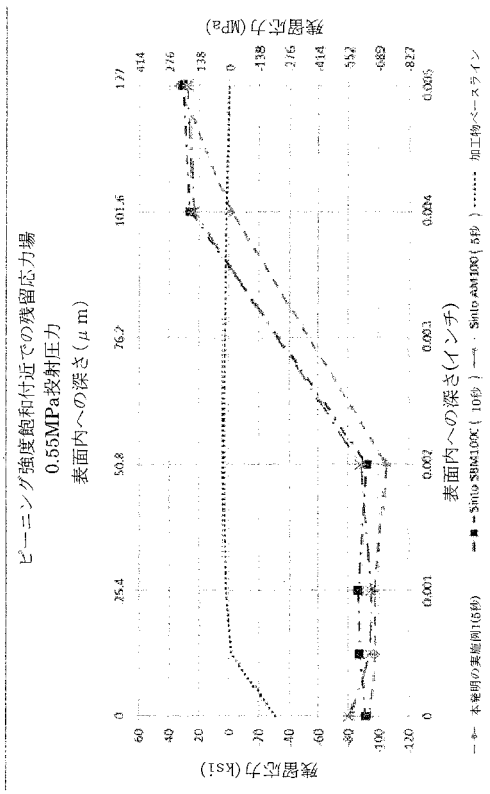
【図１】



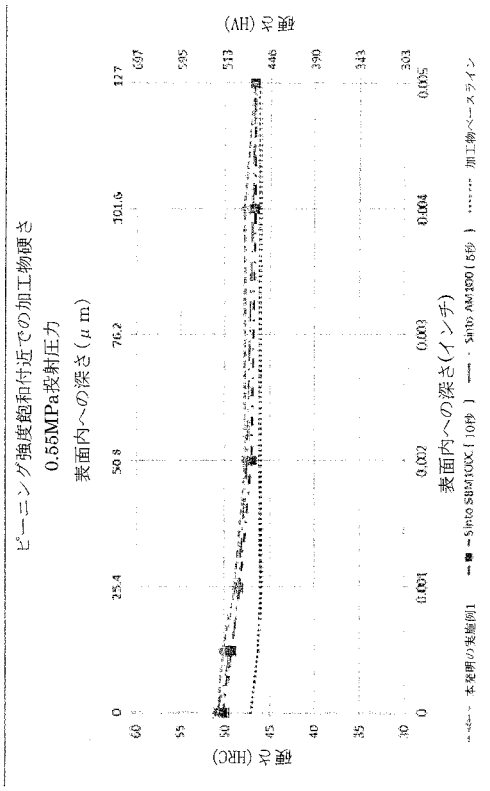
【図２】



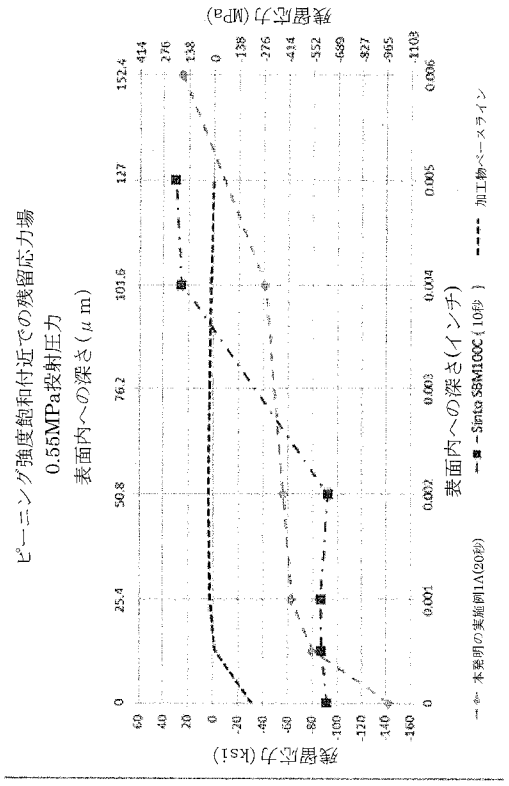
【図３】


ピーニング強度飽和付近での残留応力場
0.55MPa投射圧力
表面内への深さ（μm）
残留応力（ksi）
残留応力（MPa）
表面内への深さ（インチ）
本発明の実施例1(15秒)
Sinto SBM100C（10秒）
Sinto AM100（5秒）
加工物ベースライン

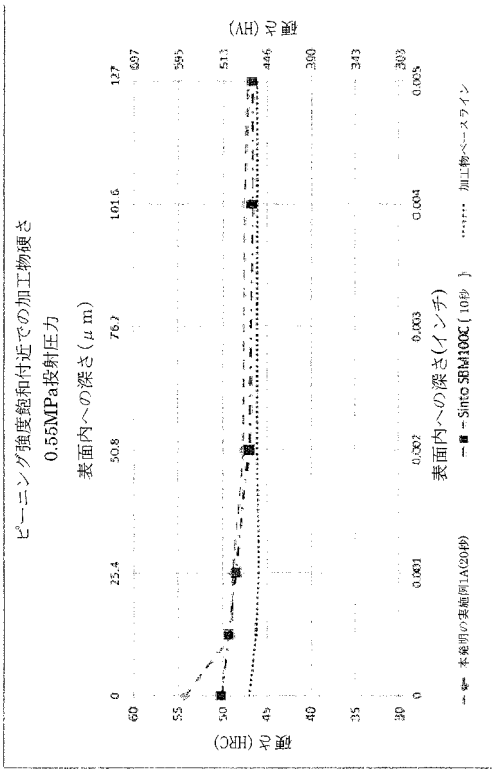
【図４】


ピーニング強度飽和付近での加工物硬さ
0.55MPa投射圧力
表面内への深さ（μm）
硬さ（HRC）
硬さ（HV）
表面内への深さ（インチ）
本発明の実施例1
Sinto SBM100C（10秒）
Sinto AM390（5秒）
加工物ベースライン

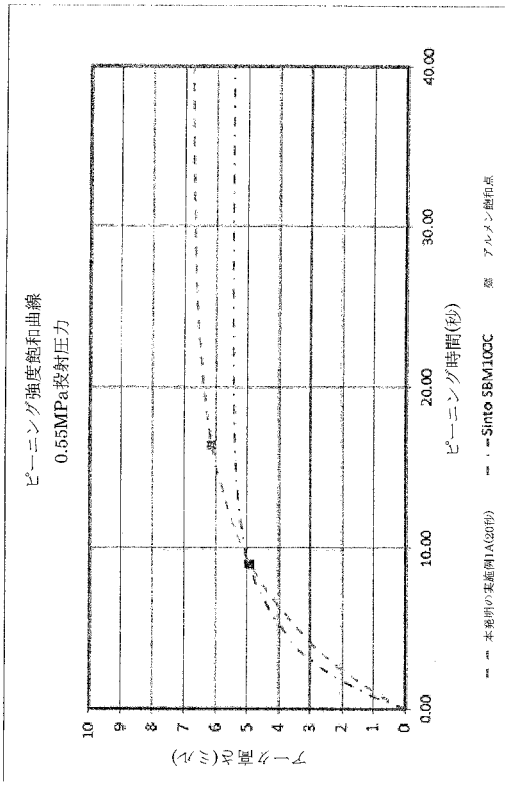
【図４Ａ】


ピーニング強度飽和付近での残留応力場
0.55MPa投射圧力
表面内への深さ（μm）
残留応力（ksi）
残留応力（MPa）
表面内への深さ（インチ）
本発明の実施例1A(20秒)
Sinto SBM100C（10秒）
加工物ベースライン

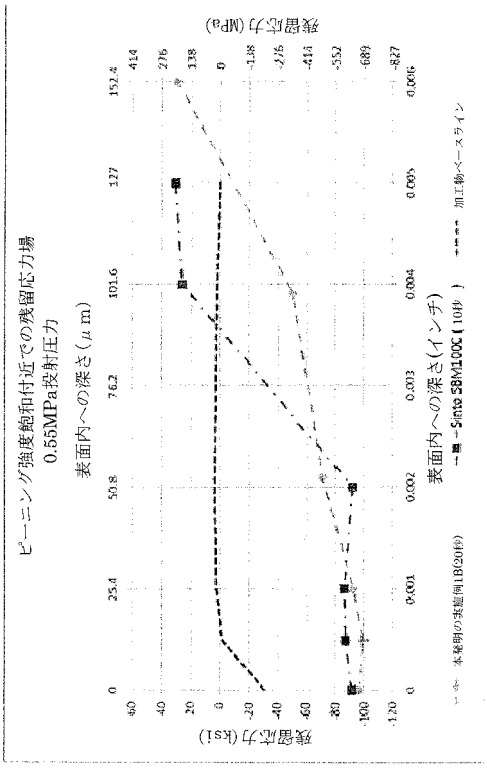
【図４Ｂ】


ピーニング強度飽和付近での加工物硬さ
0.55MPa投射圧力
表面内への深さ（μm）
硬さ（HRC）
硬さ（HV）
表面内への深さ（インチ）
本発明の実施例1A(20秒)
Sinto SBM100C（10秒）
加工物ベースライン

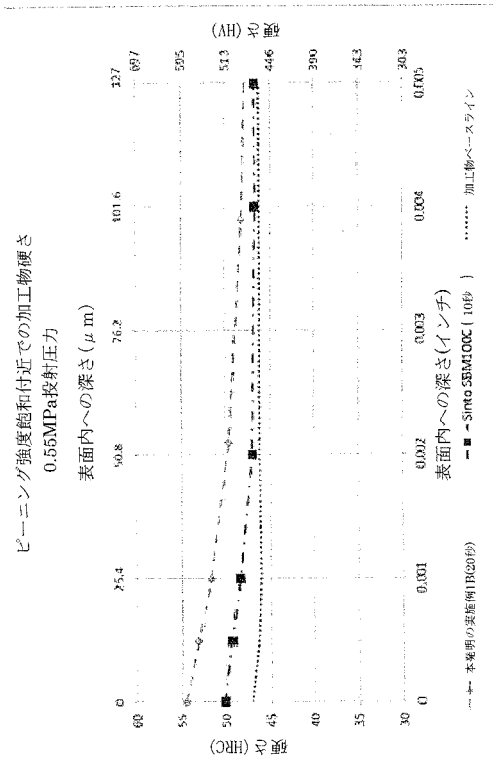
【図４Ｃ】



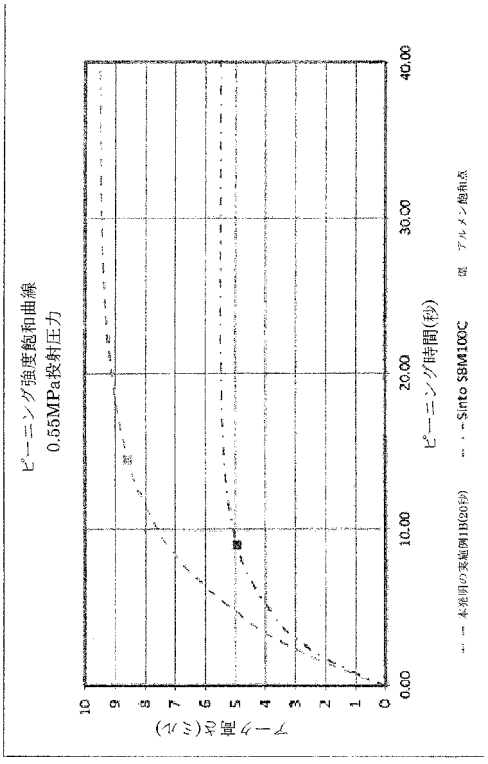
【図４Ｄ】



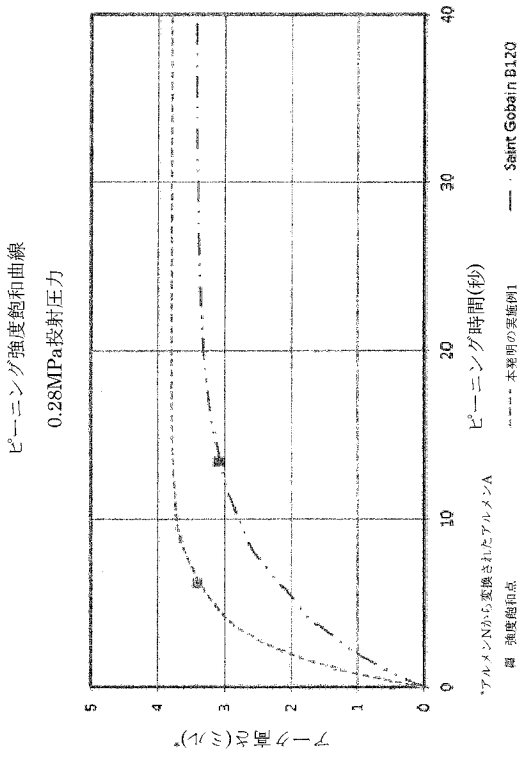
【図４Ｅ】



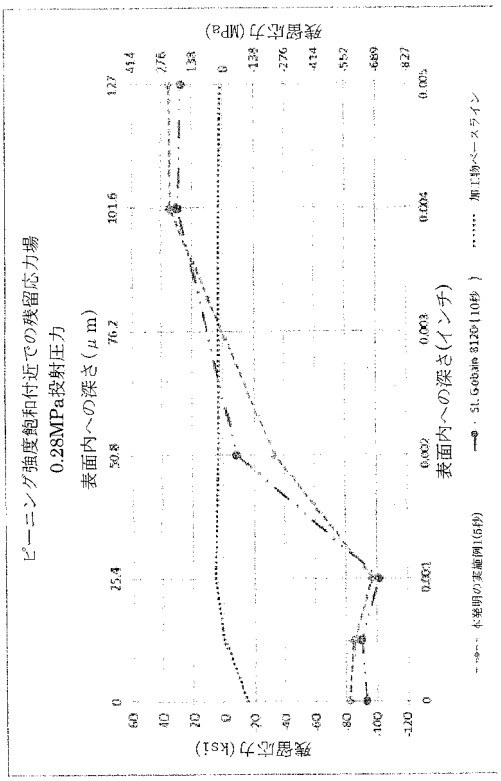
【図４Ｆ】



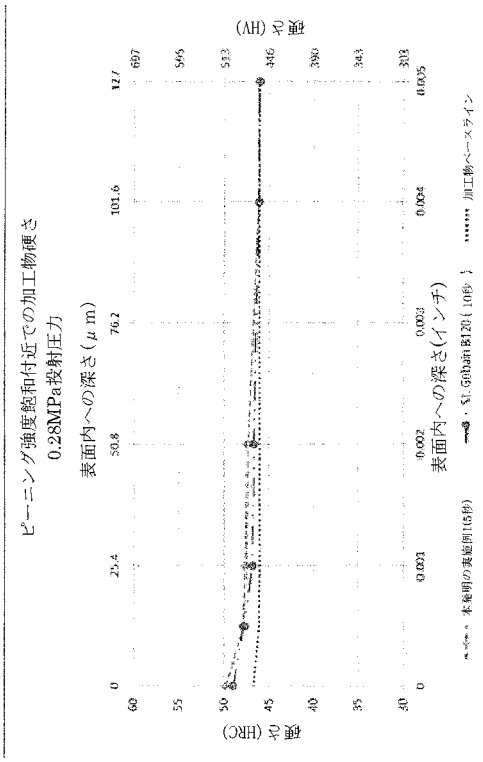
【図５】


ピーニング強度飽和曲線
0.28MPa投射圧力
アーク高さ（インチ）
ピーニング時間(秒)
*アルメンNから変換されたアルメンA
飽 強度飽和点
本発明の実施例1
Saint Gobain B120

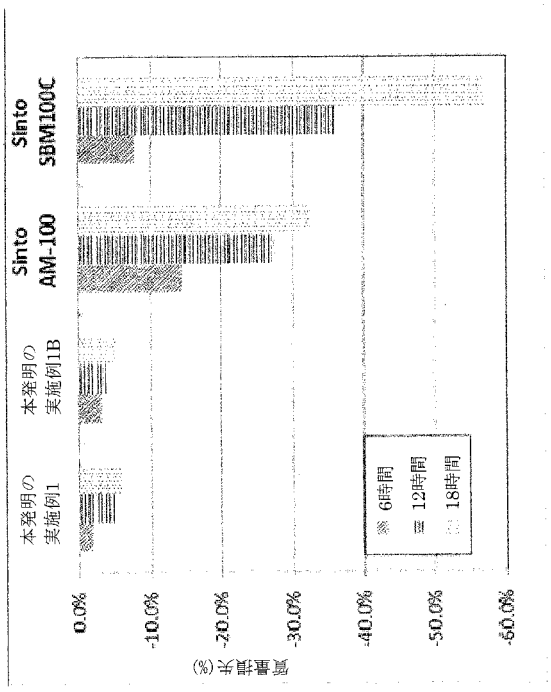
【図６】


ピーニング強度飽和付近での残留応力場
0.28MPa投射圧力
表面内への深さ（μm）
残留応力（ksi）
残留応力（MPa）
表面内への深さ（インチ）
本発明の実施例1(5秒)
St. Gobain B120(10秒)
加工物ベースライン

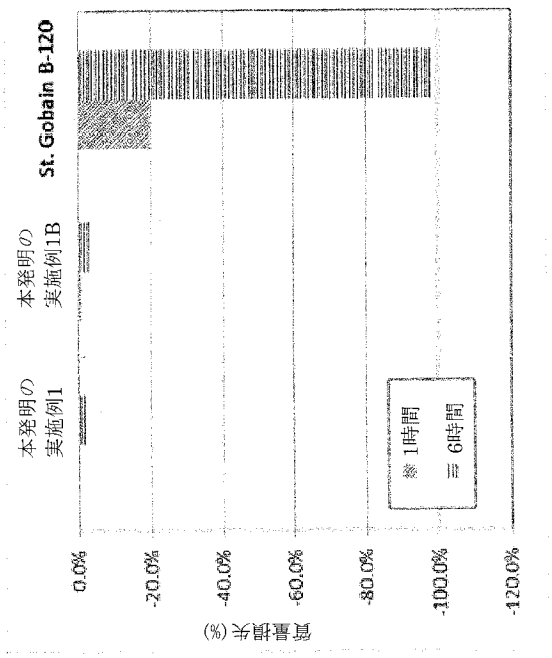
【図７】


ピーニング強度飽和付近での加工物硬さ
0.28MPa投射圧力
表面内への深さ（μm）
硬さ（HRC）
硬さ（HV）
表面内への深さ（インチ）
本発明の実施例1(5秒)
St. Gobain B120(10秒)
加工物ベースライン

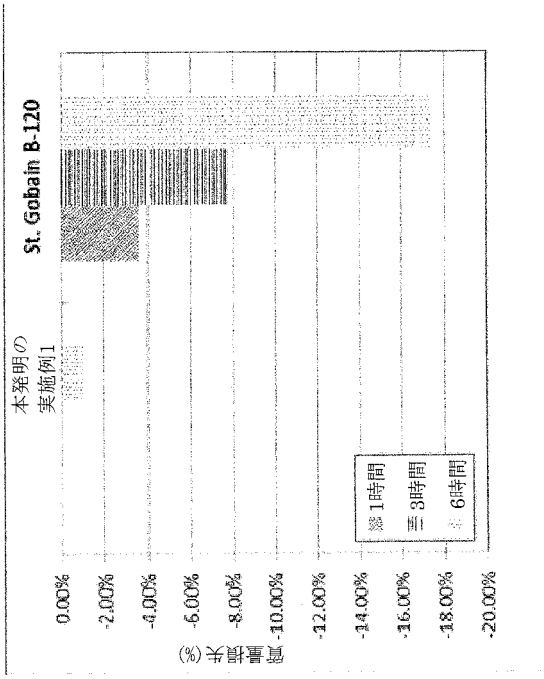
【図８】


本発明の実施例1
本発明の実施例1B
Sinto AM-100
Sinto SBM100C
質量損失(%)
6時間
12時間
18時間

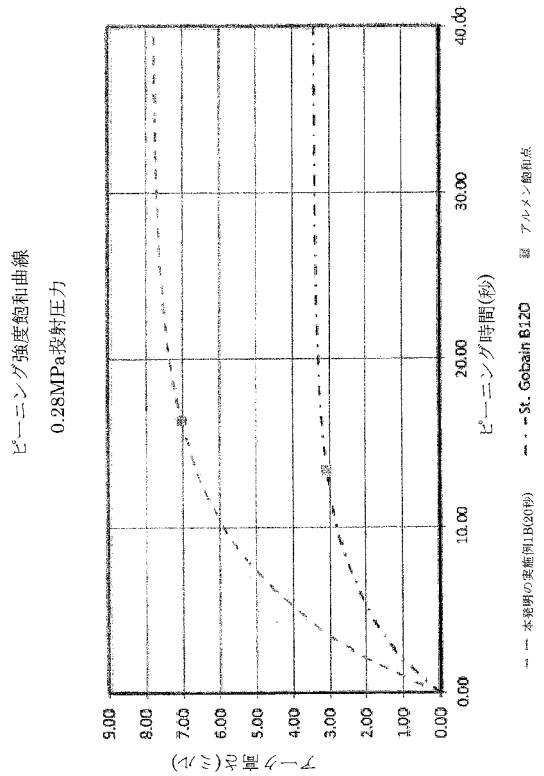
【図９】



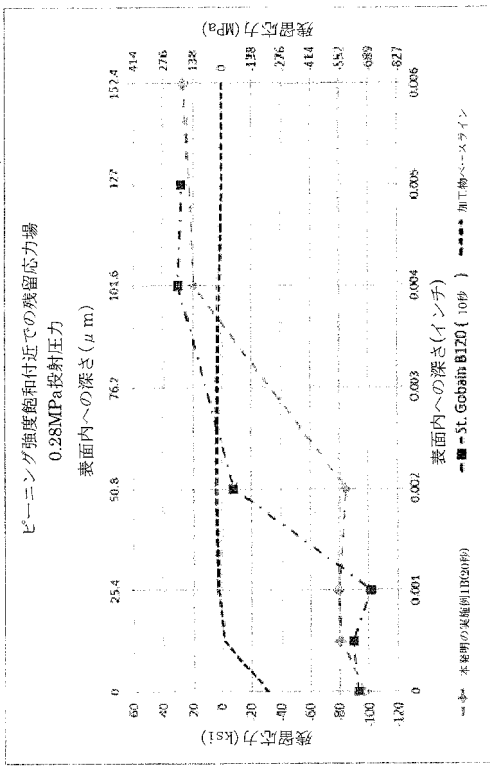
【図１０】



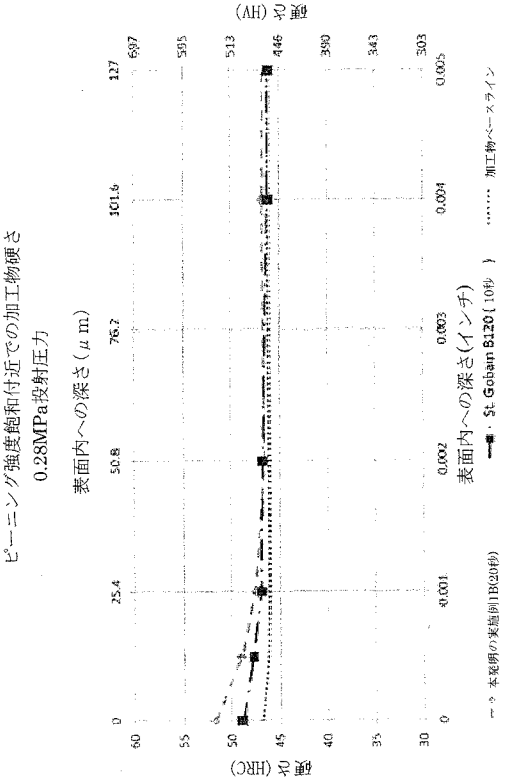
【図１１】



【図１２】



【図１３】


ピーニング強度飽和付近での加工物硬さ
0.28MPa投射圧力
表面内への深さ（μm）
0
25.4
50.8
76.2
101.6
127
697
595
513
446
390
343
303
硬さ（HV）
60
55
50
45
40
35
30
硬さ（HRC）
0
0.001
0.002
0.003
0.004
0.005
表面内への深さ(インチ)
本発明の実施例1BX(20秒)
St. Gobain 8120(10秒)
加工物ベースライン

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 15/16163

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC(8) - C21D 7/06 (2015.01)
CPC - B24C 1/10; C21D 7/06; B24B 39/006
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC(8): C21D 7/06 (2015.01)
CPC: B24C 1/10; C21D 7/06; B24B 39/006

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
USPC: 72/53, 420/64, 420/100, 420/121, 420/104 (key word limited; see search terms below)

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
PatBase, Google Patents, Google Scholar
Search terms used: shot peening, workpiece, metal alloy, B, C, Cr and Nb, Fe, Vickers Hardness, elastic modulus

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X – Y	WO 2005/116286 A2 (Branagan) 08 December 2005 (08.12.2005); pg 8 para 2, pg 10 para 2, pg 14 para 2, pg 17 para 1, pg 19 para 2 pg 20 para 1	1-3, 5, 9, 15-17, 19 --- 4, 6-8, 10-14, 18, 20-21
Y	US 2008/0053274 A1 (Branagan et al.) 06 March 2008 (06.03.2008); para [0024]-[0025]	4, 6, 10-11, 18, 20-21
Y	"BAPSHOT Blasting and Peening Shot Comparison and Advantages", 2007 (downloaded from http://www.bapshot.com/comparison.htm); pg 1 ln 5-6, pg 2 ln 5, 13-15 and 19	7, 12-13
Y	US 2002/00119858 A1 (Kino et al.) 29 August 2002 (29.08.2002); para [0043]	8
Y	US 6,224,686 B1 (Aoki et al.) 01 May 2001 (01.05.2001); col 8 ln 18-19	14
A	US 2006/0180252 A1 (Branagan et al.) 17 August 2006 (17.08.2006); entire document	1-21
A	US 2007/0029295 A1 (Branagan et al.) 08 February 2007 (08.02.2007); entire document	1-21

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
03 May 2015 (03.05.2015)	10 JUN 2015
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300	Authorized officer: Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JP,KE,KG,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US

(72)発明者 ハラルド・レムケ
アメリカ合衆国・ニューヨーク・１１７６８・ノースポート・アカリー・テラス・１
(72)発明者 パトリック・イー・マック
アメリカ合衆国・マサチューセッツ・０１７５７・ミルフォード・エモンズ・ストリート・５３
(72)発明者 ロバート・パーカー
アメリカ合衆国・マサチューセッツ・０２７７１・シーコンク・コール・ストリート・２７０