

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011 年 1 月 20 日(20.01.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/007774 A1

- (51) 国際特許分類:
B23K 20/12 (2006.01) C21D 1/09 (2006.01)
B23K 26/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/061827
- (22) 国際出願日: 2010 年 7 月 13 日(13.07.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-165228 2009 年 7 月 14 日(14.07.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 富士重工業株式会社(FUJI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1608316 東京都新宿区西新宿 1 丁目 7 番 2 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 足立 隆史(ADACHI Takafumi) [JP/JP]; 〒1608316 東京都新宿区西新宿 1 丁目 7 番 2 号 富士重工業株式会社内 Tokyo (JP). 武久 浩之(TAKEHISA Hiroyuki) [JP/JP]; 〒1608316 東京都新宿区西新宿 1 丁目 7 番 2 号 富士重工業株式会社内 Tokyo (JP). 佐野 雄二(SANO Yuji) [JP/JP]; 〒1050023 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内 Tokyo

(JP). 千田 格(CHIDA Itaru) [JP/JP]; 〒1050023 東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 江藤 聡明(ETOH Toshiaki); 〒1040031 東京都中央区京橋 2-8-18 昭和ビル 9 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

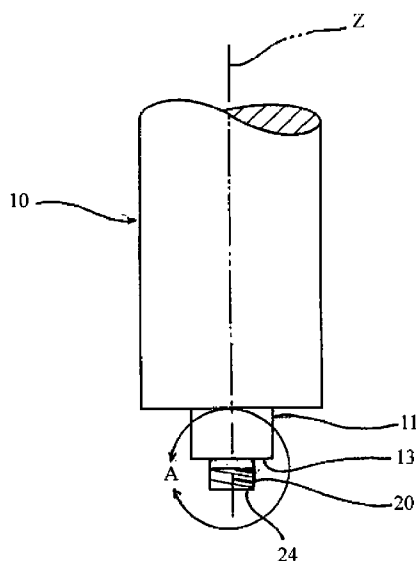
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF,

[続葉有]

(54) Title: ROTARY TOOL FOR FRICTION STIR WELDING

(54) 発明の名称: 摩擦攪拌接合用回転ツール

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is a rotary tool for friction stir welding which has excellent abrasion resistance and durability, and which imparts excellent bonding characteristics. A probe pin (20) protrudes from the apical surface (13) of the shoulder portion (11) of the rotary tool for friction stir welding (10), and pulse laser peening is performed on a base-end area (22) on the outer circumference surface of the probe pin (20), said area (22) ranging between a connecting portion (15) connected to the apical surface (13) of the shoulder portion (11), and a screw portion (23a). The surface hardness and toughness of the probe pin (20), which is subject to repeated compressive loading and tensile loading accompanying friction stir welding, are maintained, and damage due to buckling and heat deformation is inhibited, greatly improving durability.

(57) 要約: 耐摩耗性及び耐久性に優れ、優れた接合特性が得られる摩擦攪拌接合用回転ツールを提供する。摩擦攪拌接合用回転ツール 10 におけるショルダー部 11 の先端面 13 から突出するプローブピン 20 の外周面におけるショルダー部 11 の先端面 13 に連続する連続部分 15 からねじ部 23a との間の基端側範囲 22 にパルスレーザピーニングを施す。摩擦攪拌接合に伴い繰返し圧縮荷重及び引張荷重が付与されるプローブピン 20 の表面硬度及び靱性が維持され、座屈や

熱変形による破損が抑制されて耐久性が大幅に向上する。

WO 2011/007774 A1



BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, 添付公開書類:
SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 摩擦攪拌接合用回転ツール

技術分野

[0001] 本発明は、アルミニウム合金、マグネシウム合金、銅合金、チタン合金等の金属材料で構成された被接合部材を摩擦攪拌接合する際に使用する摩擦攪拌接合用回転ツールに関し、特に耐久性に優れると共に、高品質の摩擦攪拌接合が得られる摩擦攪拌接合用回転ツールに関する。

背景技術

[0002] 従来から、アルミニウム合金、マグネシウム合金、銅合金、チタン合金等の金属材料で構成された被接合部材相互を接合する方法としては、ボルトやリベットによる機械的接合或いは、抵抗スポット溶接、アーク溶接、ガス溶接がある。この抵抗スポット溶接、アーク溶接、ガス溶接等は、ボルトやリベットによる機械的接合に比べ、製品が軽量化され、工数も少なくかつ装置も比較的簡単で広く利用されている。しかし、これらの溶接は、溶接温度が高く接合部がほぼ溶融温度に加熱され、被接合部材に熱的変形、硬化、残留応力、脆化、酸化による接合不良等の種々の熱的影響が懸念される。

[0003] ここで、溶接に代えて、摩擦攪拌によって互いの被接合部材を接合させる摩擦攪拌接合方法が提案されている。

[0004] 図 8 はこの摩擦攪拌接合に用いる摩擦攪拌接合用回転ツールの一例を示す回転ツール先端部の斜視図、図 9 は摩擦攪拌接合方法を示す図である。

[0005] 図 8 に示すように、摩擦攪拌接合用回転ツール 100 は円柱状であって、その先端に円柱状のショルダー部 101 を有し、ショルダー部 101 の先端面 101a からプローブピン 102 が突出し、プローブピン 102 の先端側外周にねじ部 102a が形成されている。この摩擦攪拌接合用回転ツール 100 を図 9 に示すように回転駆動装置 105 により高速で回転させながら、ショルダー部 101 の先端面 101a から突出されたプローブピン 102 を相互の被接合部材 W の接合部 Wa に圧入させると共に、ショルダー部 101

の先端面 101a を被接合部材Wの表面に接触させる。この状態で、摩擦攪拌接合用ツール 100 を被接合部材Wの接合部Wa に沿って移動させながら、被接合部材W相互の接合部Wa に沿って接合させる。

[0006] 即ち、この摩擦攪拌接合用回転ツール 100 においては、高速で回転するショルダー部 101 やプローブピン 102 と被接合部材Wとの摩擦熱により、被接合部材Wを塑性流動化させ、その流動化された被接合部材Wをその接合部Wa においてプローブピン 102 の外周に設けられたねじ部 102a により攪拌し、その後、該部を冷却させて相互の被接合部材Wを接合部Wa において接合させる。

[0007] このように摩擦攪拌接合により互いの被接合部材Wを接合させる場合、溶接に比べ低温で互いの被接合部材Wを接合させることができ、接合時の熱的影響が抑制できると共に、接合部Wa 全体が均一に接合でき、更に、異種材料の接合も容易に行える。この摩擦攪拌接合用回転ツール 100 におけるショルダー部 101 やプローブピン 102 を構成する材料として、一般に熱間工具鋼が使用される。

[0008] しかし、摩擦攪拌接合用回転ツール 100 を高速で回転させて、プローブピン 102 を互いの被接合部材Wの接合部Wa に圧入すると共に、ショルダー部 101 の先端面 101a を被接合部材Wに接触させ、摩擦熱により被接合部材Wを塑性流動化させる場合、流動化された被接合部材Wがショルダー部 101 やプローブピン 102 に溶着すると、攪拌抵抗が大きくなりプローブピン 102 が破損する要因となる。また、ショルダー部 101 やプローブピン 102 が高温下に曝露されて摩耗が激しくなると共に強度が低下し、引張及び圧縮荷重が繰り返し付加されるプローブピン 102 の座屈及び破損や、接合された被接合部材Wの接合部Wa が熱変形することが懸念される。

[0009] また、摩擦攪拌接合用回転ツールのプローブピン等が破損した場合、被接合部材が損傷したり、作業者に危険が及ぶこともある。この摩擦攪拌接合用回転ツールの破損を防ぐ対策として、摩擦攪拌接合用回転ツールの軸径増大、応力集中部の曲率増大、摩擦攪拌接合用回転ツールの材料の高強度化等の

種々の方策があるが、これらの変更に伴い発生する不具合の有無確認には多くの費用及び時間を要するだけでなく、接合特性に影響を及ぼすことがある。また、ねじ部等の形状を簡素化して工具寿命を延ばす方法もあるが、その場合優れた接合特性が実現できなくなる。

[0010] そこで、ショルダー部やプローブピンの摩耗や破損を抑制すると共に、接合部材の熱的影響を抑制する摩擦攪拌接合用回転ツールが特許文献1によって提案されている。

[0011] この特許文献1に開示された摩擦攪拌接合用回転ツールは、被接合部材と接触するプローブピン及びショルダー部を、C_oを5～18重量%含有するWC系の超硬合金で構成する。この摩擦攪拌接合用回転ツールを高速で回転させ、プローブピンを被接合部材の接合部に圧入させると共にショルダー部の先端面を接触させて、摩擦熱により被接合部材を塑性流動化させて被接合部材を接合する。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特開2005-199281号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] しかし、上記特許文献1の摩擦攪拌接合用回転ツールによると、WC系の超硬合金で形成されたプローブピン及びショルダー部は耐摩耗性に優れる反面、靱性が低く、使用による引張及び圧縮荷重の繰り返しにより、破損することが懸念される。

[0014] また、WC系の超硬合金からなるプローブピン及びショルダー部を備えた摩擦攪拌接合用回転ツールは、その製造コストが増大し、摩擦攪拌接合用回転ツールにより接合された製品の製造コストが増大することが懸念される。

[0015] 一方、鋼材における繰り返し荷重を受ける部分の疲労強度を向上させる手段として、ショットピーニングにより圧縮残留応力を付与したり、表面部の

硬さを向上させる方法がある。このショットピーニングは、鋼材のターゲットとする表面に小さな剛球を吹き付けてそこに塑性変形をもたらすことにより、圧縮残留応力を付与するものである。

[0016] このショットピーニングにより、比較的安価な熱間工具鋼や耐熱合金によって形成した摩擦攪拌接合用回転ツールのプローブピンに圧縮残留応力を付与することができ、安価に耐久性に優れた摩擦攪拌接合用回転ツールを得ることも想定できる。しかし、ショットピーニングは、その表面に小さな鋼球等を吹き付けることから、その吹き付け範囲が広くプローブピンやショルダ一部分の先端面の表面がショット痕により荒れ、そのショット痕の凹凸が疲労起点となり疲労特性が低下するおそれがある。更にプローブピンやショルダ一部分の先端面、特にプローブピンの先端外周に形成されるねじ部等がショット痕により表面形状精度が低下する。この表面形状精度の低下に起因して、被接合部材の接合時にプローブピン及びショルダ一部分の先端面と被接合部材との間の摩擦攪拌抵抗が増大し、かつ接合特性が低下することが懸念される。

[0017] また、ショットピーニングによって付与される圧縮残留応力は極めて浅く、十分な疲労特性の改善に足る圧縮残留応力を確保することが困難である。また、ショットピーニングにより微小領域に精度よく剛球を吹き付けることはできず、表面形状精度が要求される小さなプローブピンを備えた摩擦攪拌接合用回転ツールにショットピーニングを施すことは困難である。

[0018] 一方、最近、金属物体の表面近傍に圧縮残留応力を付与する方法としてパルスレーザピーニングが開発されている。パルスレーザピーニングは、ショットピーニングと比較して、パルスレーザビームの照射スポットを高精度で制御することが可能で、微小領域への選択的な圧縮残留応力付与に適し、かつ施工処理に伴う表面形状変化が小さく、表面形状精度が要求される機械部品への適用が可能である。また、より深く圧縮残留応力を付与することが可能であり、パルスエネルギー、スポット径、パルス照射回数等のパルスレーザビームの照射条件を制御することで、圧縮残留応力深さが調整できる。

[0019] 従って、かかる点に鑑みなされた本発明の目的は、耐摩耗性及び耐久性に優れ、優れた接合特性が得られる摩擦攪拌接合用回転ツールを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0020] 上記目的を達成する請求項 1 に記載の摩擦攪拌接合用回転ツールの発明は、回転するショルダ一部の先端面から突出され先端側外周にねじ部を備えたプローブピンを、被接合部材の接合部に圧入させ、該接合部に沿ってプローブピンを移動して、接合部における被接合部材を摩擦攪拌接合させる摩擦攪拌接合用回転ツールにおいて、上記プローブピンの外周面にパルスレーザピーニングを施したことを特徴とする。

[0021] この発明によると、接合時に繰り返し引張及び圧縮荷重応力が負荷されるプローブピンの外周面に、微小領域への選択的な圧縮残留応力を付与することが可能となり、表面形状変化が小さく表面形状精度が維持される。また、パルスレーザピーニングにより圧縮残留応力及び硬度上昇を深くまで導入することにより、摩擦攪拌接合に伴い引張及び圧縮応力が繰り返し付与されるプローブピンの亀裂の発生を抑制できる。よって、座屈や破損が抑制されて耐久性が大幅に向上する。

[0022] 請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 の摩擦攪拌接合用回転ツールにおいて、上記プローブピンの外周面におけるショルダ一部の先端面に連続する連続部分から上記ねじ部との間の基端側範囲に上記パルスレーザピーニングを施したことを特徴とする。

[0023] この発明によると、摩擦攪拌接合に伴い繰り返し引張及び圧縮応力が集中的に付与されるプローブピンの基端側範囲にパルスレーザピーニングを施すことにより、特にパルスレーザピーニングにより圧縮残留応力が集中的に付与されるプローブピンの基端側範囲の靱性が維持され、座屈や熱変形による破損が抑制されて耐久性が大幅に向上する。

[0024] 請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 または 2 の摩擦攪拌接合用回転ツールにおいて、上記パルスレーザピーニングにより付与される圧縮残留応力が、

摩擦攪拌接合用回転ツールの使用時における最高温度下で付与される引張応力より大きくかつ圧縮降伏応力より小さいことを特徴とする。

- [0025] この発明によると、パルスレーザピーニングにより付与される圧縮残留応力が摩擦攪拌接合用回転ツールの使用時における最高温度下で付与される引張応力より大きくかつ圧縮降伏応力より小さくなる範囲に制御することで、より確実にプローブピンの靱性が維持され、座屈や熱変形による破損が抑制されて耐久性が大幅に向上する。

発明の効果

- [0026] 本発明によるとパルスレーザピーニングを施すことにより、摩擦攪拌接合に伴い引張及び圧縮応力が繰り返し付与されるプローブピンの表面硬度及び靱性が維持され、座屈や熱変形による破損が抑制されて耐久性が大幅に向上する。また、プローブピンの表面形状精度が損なわれることなく良好な接合特性が得られる。

図面の簡単な説明

- [0027] [図1]本実施の形態における摩擦攪拌接合用回転ツールの概要を示す側面図である。
- [図2]図1のA部の斜視図である。
- [図3]図2のI-I線断面図である。
- [図4]パルスレーザピーニング処理の概要を示す図である。
- [図5]摩擦攪拌接合の概要を示す図である。
- [図6]実施例における摩擦攪拌接合用回転ツールの概要を示す断面図である
- [図7]同じく、残留応力測定結果を示す図である。
- [図8]従来の摩擦攪拌接合用回転ツールの概要を示す図である。
- [図9]同じく、摩擦攪拌接合の概要を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0028] 以下、本発明による摩擦攪拌接合用回転ツールの実施の形態を図1乃至図5を参照して説明する。
- [0029] 図1は、摩擦攪拌接合用回転ツールの概要を示す側面図、図2は図1のA

部の斜視図、図 3 は図 2 の I - I 線断面図である。

- [0030] 図 1 に示すように摩擦攪拌接合用回転ツール 10 は、図示されていないインダクションモータ等の回転駆動装置 1 によって軸線 Z まわりに回転駆動される熱間工具鋼からなる円柱状であって、その先端に円柱状のショルダ一部 11 が形成され、ショルダ一部 11 の先端面 13 の中央から軸線 Z に沿って突出するプローブピン 20 が形成されている。
- [0031] ショルダ一部 11 の先端面 13 は、図 2 及び図 3 に示すように、中央が基端側に凹むように逆円錐状に形成され、最も凹んだ中央部からプローブピン 21 が軸線 Z に沿って先端方向に突出している。ショルダ一部 11 の外周面 12 と先端面 13 に亘る環状の角部 14 は円弧状に滑らかに連続する、いわゆる隅 R が形成されている。また、先端面 13 とプローブピン 20 の基端とが連続する連続部分 15 も円弧状に滑らかに連なる、いわゆる隅 R が形成されている。
- [0032] プローブピン 20 は円柱状であって、その外周面の基端側範囲 22 は断面真円状であって、先端側範囲 23 には螺旋状のねじ部 23 a が形成されている。
- [0033] このように形成された摩擦攪拌接合用回転ツール 10 において、使用時に繰り返し引張及び圧縮応力が負荷されるショルダ一部 11 やプローブピン 20、本実施の形態では特に応力が集中的に負荷されるショルダ一部 11 の先端面 13 に連なる連続部分 15 からねじ部 23 a との間の基端側範囲 22 の表面にパルスレーザピーニングを施す。
- [0034] パルスレーザピーニングは、例えば摩擦攪拌接合回転ツール 10 を軸線 Z まわりに回転駆動し、回転する摩擦攪拌接合回転ツール 10 のショルダ一部 11 の先端面 13 に連なる連続部分 15 を含むプローブピン 20 の基端側範囲 22 (図 2 にハッチングで示す) の表面に、パルスレーザビームを集光及び照射して図 4 に要部拡大図を示すように、摩擦攪拌接合回転ツール 10 が回転する周方向を走査方向 Y とし、ビームスポット S の走査領域をプローブピン 20 の基端側から先端 24 側方向 X にずらしながら行う。走査方向 Y に

ビームスポットSは互いに重なりあうようにビームスポットSを走査し、また、隣接するX方向のビームスポットSも互いに重なりあうようにする。これにより、ショルダー部11の先端面13に連なる接続部分15を含むプローブピン20の基端側範囲22の表面にパルスレーザビームが重畳照射されて圧縮残留応力が付与され、疲労強度が高められる。

[0035] このパルスレーザピーニングにあたり、パルスレーザビームの照射スポットを制御することで、予め設定したショルダー部11の先端面13に連続する接続部分15を含むプローブピン20の基端側範囲22の表面に高精度で圧縮残留応力が付与され、かつ表面形状変化が極めて小さく接続部分15を含むプローブピン20の表面形状精度が維持される。

[0036] 更に、パルスエネルギー、スポット径、パルス照射回数等のパルスレーザビームの照射条件を制御することで、所望の圧縮残留応力深さが確保できる。例えば圧縮残留応力深さHをプローブピン20の径Dに対し25% ($H < D/4$) 程度以下に設定することでショルダー部11の先端面13に連なる接続部分15を含むプローブピン20の表面硬度を十分に確保しつつ、靱性が保持される。

[0037] なお、このパルスレーザビームの照射により付与される圧縮残留応力は、摩擦攪拌接合に伴う温度上昇により摩擦攪拌接合用回転ツール10の強度が低下することを考慮して設定することが好ましく、摩擦攪拌接合に伴うプローブピン20の基端側範囲22の座屈や、プローブピン20の破損を有効的に回避乃至抑制するには、摩擦攪拌結合の際の最高温度曝露下において最も負荷が付与されるプローブピン20の基端側範囲22における引張応力より大きく、かつ最高温度曝露下における圧縮降伏応力より小さく設定することが好ましい。

[0038] 即ち、圧縮残留応力が下記のようになるようにパルスレーザビームの照射を制御することが好ましい。

[0039] (最高温度曝露下で付与される引張応力<圧縮残留応力<最高温度曝露下における圧縮降伏応力)

このように構成された摩擦攪拌接合用回転ツール 10 を用いて互いの被接合部材 W を接合部 W_a において摩擦攪拌接合させるにあたっては、図 5 に示すように、回転駆動手段 1 によって摩擦攪拌接合用回転ツール 10 を高速で回転させながら軸線 Z に沿って下降させる。

[0040] そして、摩擦攪拌接合用回転ツール 10 のプローブピン 20 が互いの被接合部材 W の接合部 W_a に達すると、回転するプローブピン 20 と被接合部材 W との摩擦熱によって被接合部材 W が加熱されて軟化し、プローブピン 20 が挿入される。

[0041] 更に、プローブピン 20 をショルダー部 11 の角部 14 が被接触部材 W の表面に接触するまで挿入し、この被接合部材 W に挿入された状態で回転するショルダー部 11 及びプローブピン 20 と被接合部材 W との摩擦熱により更に被接合部材 W が加熱されて軟化し、かつ回転するプローブピン 20 により接合部 W_a における被接合部材 W を塑性流動化させる。そして、このように流動化された被接合部材 W をプローブピン 20 に形成されたねじ部 23 a により攪拌し、この攪拌によって被接合部材 W の接合部 W_a に塑性流動域が形成される。この状態で、摩擦攪拌接合用回転ツール 10 を被接合部材 W の接合部 W_a に沿って移動させ、被接合部材 W の接合部 W_a に沿って順次に接合させる。

[0042] また、摩擦攪拌接合用回転ツール 10 において、流動化された被接合部材 W をプローブピン 20 の先端外周に形成されたねじ部 23 a により攪拌させる場合に、このねじ部 23 a が摩擦攪拌接合用回転ツール 10 の回転方向と逆ねじに形成されているため、流動化された被接合部材 W がねじ部 23 a の作用により奥方に押し付けられるようになり、またショルダー部 11 の先端面 13 を外周側からプロービングピン 20 が設けられた中心に向けて凹むように形成しているため、流動化された被接合部材 W が接合部 W_a から外側に流れ出るのが抑制され、空洞等が形成されることがなく、被接合部材 W の双方が接合部 W_a において均一に接合される。

[0043] ここで、摩擦攪拌接合用回転ツール 10 においては、ショルダー部 11 の

先端面 13 に連続する連続部分 15 を含むプローブピン 20 の基端側範囲 22 にパルスレーザピーニングを施すことにより、ショルダー部 11 の先端面 13 及び先端面 13 に連続する連続部分 15 を含むプローブピン 20 の表面形状が損なわれることなく圧縮残留応力が付与され、被接合部材 W を接合部 Wa に沿って摩擦攪拌接合する際に、被接合部材 W がプローブピン 20 やショルダー部 11 の先端面 13 に付着するのが抑制されると共に、摩擦によるプローブピン 20 やショルダー部 11 の摩耗も少なくなる。

[0044] また、摩擦攪拌接合に伴い引張及び圧縮荷重応力が繰り返し付与されるショルダー部 11 の先端面 13 に連なる部分 15 を含むプローブピン 20 の基端側範囲 22 の表面硬度及び靱性が維持され、ショルダー部 11 の座屈や熱変形による破損が抑制されて耐久性が大幅に向上する。

[0045] なお、この実施形態における摩擦攪拌接合用回転ツール 10 においては、ショルダー部 11 の先端面 13 に連なる連続部分 15 を含むプローブピン 20 の基端側範囲 22 の範囲にのみパルスレーザピーニングを施して該部に残留応力を付与したが、摩擦攪拌接合に伴い被接合部材 W と接するショルダー部 11 の先端面 13 及びプローブピン 20 の外周面の広範囲に亘りパルスレーザピーニングを施して圧縮残留応力を付与しても良い。この場合においても、ねじ部 23 の表面形状変化が極めて小さくねじ部 23 a を含むプローブピン 20 全体の表面形状精度が維持される。

実施例

[0046] 次に、この発明の実施の形態に係る具体的な摩擦攪拌接合用回転ツールの特性を説明する。

[0047] 実施例において、摩擦攪拌接合用回転ツールのショルダー部の先端面に連なる部分を含むプローブピンの基端側範囲にパルスレーザピーニング処理を施し、高温曝露前及び高温曝露下における残留圧縮応力測定をした。

[0048] (1) 摩擦攪拌接合用回転ツール

・摩擦攪拌接合用回転ツール形状：図 6 に要部断面を示し、かつ図 3 と対応する部分に同一符号を付すように、ショルダー部 11 の先端面 13 の中央か

ら径Dが2mm、先端面13から先端24までの長さLが5mmである。

・パルスレーザピーニング処理範囲：摩擦攪拌接合用回転ツール10を回転駆動状態でショルダー部11の先端面13に連なる連続部分15を含むプローブピン20の基端側範囲22にパルスレーザピーニングを施す。

・材質：摩擦攪拌接合用回転ツール20の材質を表1に示す。表1に示すような機械的特性を有する熱間工具鋼、即ちヤング率：210,000N/mm²、引張強さ：2,650N/mm²、0.2%耐力：1,960N/mm²、伸び：4%、絞り：13%の熱間工具鋼により摩擦攪拌接合用回転ツール10を形成した。

・応力状態：摩擦攪拌接合用回転ツール10は、高速回転しながら被接合部材の接合部に差し込まれて、接合部に沿って一方に移動し、引張／圧縮荷重を繰り返し受ける。ここで、この摩擦攪拌接合用回転ツール10の場合、プローブピン20の応力集中部となる基端側範囲22に400MPa程度の引張／圧縮応力が作用する。

・温度状態：一方、摩擦攪拌接合用回転ツール10は、通常の温度から使用により高温下に曝露されてプローブピン20の温度は約400℃まで上昇する。

[0049] [表1]

熱間工具鋼機械的特性

ヤング率	210,000N/mm ²
引張り強さ	2,650N/mm ²
0.2%耐力	1,960N/mm ²
伸び	4%
絞り	13%

[0050] (2) パルスレーザピーニング条件

・必要条件1：摩擦攪拌接合用回転ツール10のプローブピン20は使用時

に高温曝露下となり、温度が約400℃程度となる。したがってプローブピン20の強度は常温時と比較し約30%低下することを考慮し、パルスレーザピーニングにより付与される圧縮残留応力を通常の高温曝露前において作用する引張／圧縮荷重400MPaに対し30%程度大きく付与する必要がある。よって、パルスレーザピーニングにより付与される圧縮残留応力は引張／圧縮荷重400MPaに対し30%程度大きな571MPa以上が必要である。・必要条件2：一方、パルスレーザピーニングにより付与される圧縮残留応力は高温曝露下での圧縮降伏応力以下、すなわち図7における回転ツールの使用材質の0.2%耐力（1,960MPa）の70%以下、即ち1,370MPa以下に設定する必要がある。

[0051] これら必要条件1及び必要条件2を考慮し、表2に示すケース1～ケース9の各パルスレーザピーニング条件でパルスレーザピーニングを施し、高温曝露前及び高温曝露後（400℃）における圧縮残留応力を測定した。これらの結果を表2および図7に示す。

[0052] [表2]

パルスレーザピーニング条件及び残留応力測定結果

	エネルギー mJ	スポット径 mm	照射回数 pls/mm ²	残留応力	
				熱曝露前	高温曝露後
				σ_y (MPa)	σ_y (MPa)
ケース1	10	0.2	180	-1142.7	-957.5
ケース2	10	0.2	360	-1453.4	-1151.6
ケース3	10	0.2	540	-1530.2	-1179.7
ケース4	20	0.3	90	-712.2	-647.2
ケース5	20	0.3	180	-989.6	-826.4
ケース6	20	0.3	270	-991.8	-866.3
ケース7	30	0.35	60	-727.8	-621.4
ケース8	30	0.35	120	-1228	-1002.1
ケース9	30	0.35	180	-1433.9	-1112.9

[0053] これらの結果より、ケース1に示すパルスエネルギー：10mJ、スポット径：0.2mm、パルス照射回数：180pls/mm²において上記必要条件1及び必要条件2を満足することが確認できる。同様に、ケース4乃至ケース6に示すパルスエネルギー：20mJ、スポット径：0.3mm、パルス照射回数：90pls/mm²、180pls/mm²及び270pls/mm²

m^2 において上記必要条件1及び必要条件2を満足することが確認できる。また、ケース7及びケース8に示すパルスエネルギー：30mJ、スポット径：0.35mm、パルス照射回数：60p/s/mm²及び120p/s/mm²において上記必要条件1及び必要条件2を満足することが確認できる。

[0054] 即ち、表1及び表2より次の各パルスレーザピーニング条件で上記必要条件1及び必要条件2を満足することが確認でき、下記のパルスレーザピーニング条件により良好な圧縮残留応力が付与されることが確認できる。

[0055] パルスエネルギー10mJの場合、スポット径：0.2mmでかつパルス照射回数180p/s/mm²

パルスエネルギー20mJの場合、スポット径：0.3mmでかつパルス照射回数90～270p/s/mm²

パルスエネルギー30mJの場合、スポット径：0.35mmでかつパルス照射回数60～120p/s/mm²

[0056] (3) 摩擦攪拌接合用回転ツールの評価

ケース1、4～8の条件でパルスレーザピーニングを施した摩擦攪拌接合用回転ツールを使用して以下の評価を行い、プローブピン20の折損がなく、良好な摩擦攪拌接合特性が得られる状態で接合距離も2倍以上延ばせることを確認した。

・パルスレーザピーニングを施したケース1、4～8の摩擦攪拌接合用回転ツールを用いて摩擦攪拌接合した後に引張試験及び疲労試験を行い、強度及び疲労サイクル数を満足していることを確認した。

・所望距離だけ摩擦攪拌接合を行い、プローブピン20の折損がないことを確認した。

符号の説明

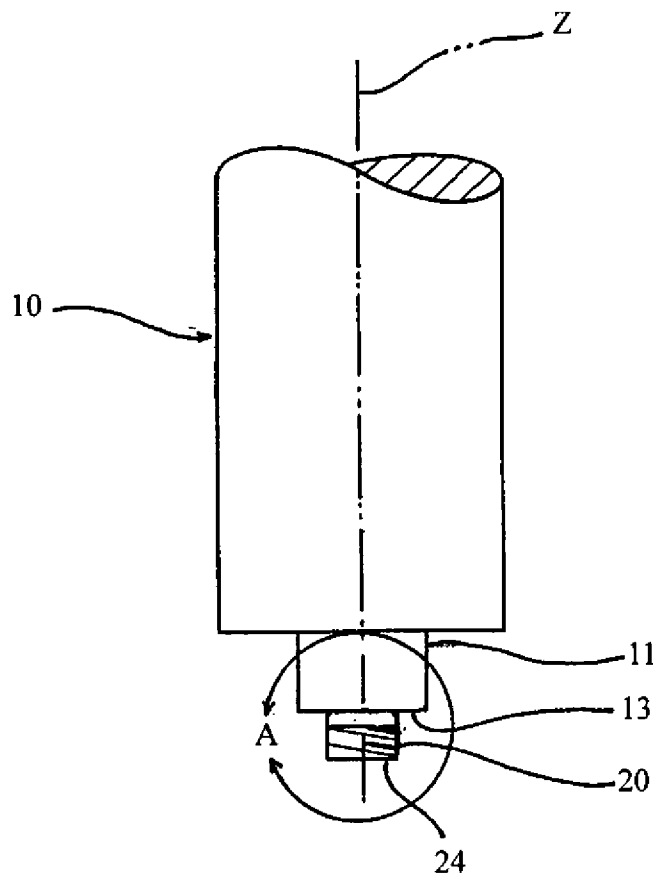
[0057] 10 摩擦攪拌接合用回転ツール
11 ショルダー部
12 外周面
13 先端面

1 5	連続部分
2 0	プローブピン
2 2	基端側範囲
2 3	先端側範囲
2 4	先端
W	被接合部材
W a	接合部

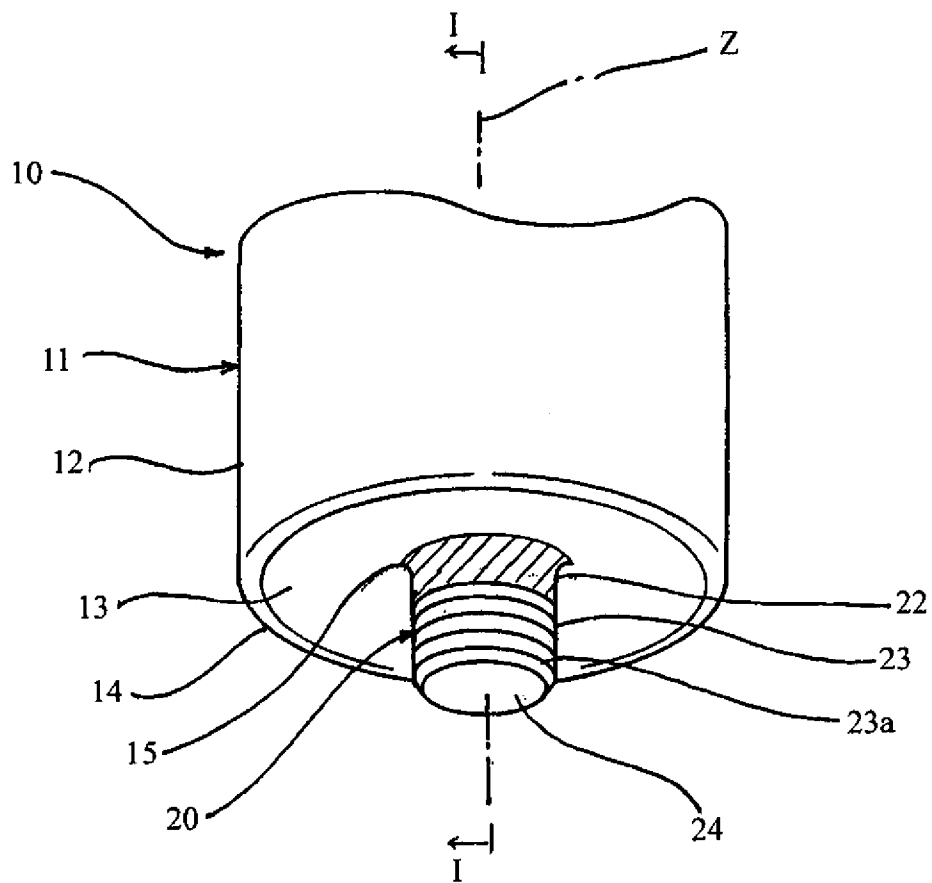
請求の範囲

- [請求項1] 回転するショルダー部の先端面から突出され先端側外周にねじ部を備えたプローブピンを、被接合部材の接合部に圧入させ、該接合部に沿ってプローブピンを移動して、接合部における被接合部材を摩擦攪拌接合させる摩擦攪拌接合用回転ツールにおいて、
- 上記プローブピンの外周面にパルスレーザピーニングを施したことを特徴とする摩擦攪拌接合用回転ツール。
- [請求項2] 上記プローブピンの外周面におけるショルダー部の先端面に連続する連続部分から上記ねじ部との間の基端側範囲に上記パルスレーザピーニングを施したことを特徴とする請求項1に記載の摩擦攪拌接合用回転ツール。
- [請求項3] 上記パルスレーザピーニングにより付与される圧縮残留応力が、摩擦攪拌接合用回転ツールの使用時における最高温度下で付与される引張応力より大きく、かつ上記最高温度下での上記回転ツール使用材質の圧縮降伏応力より小さいことを特徴とする請求項1または2に記載の摩擦攪拌接合用回転ツール。

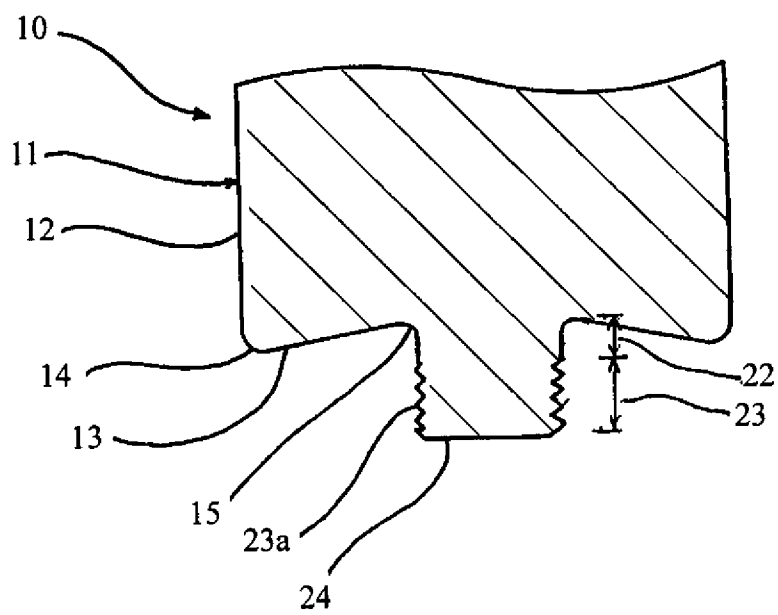
[図1]



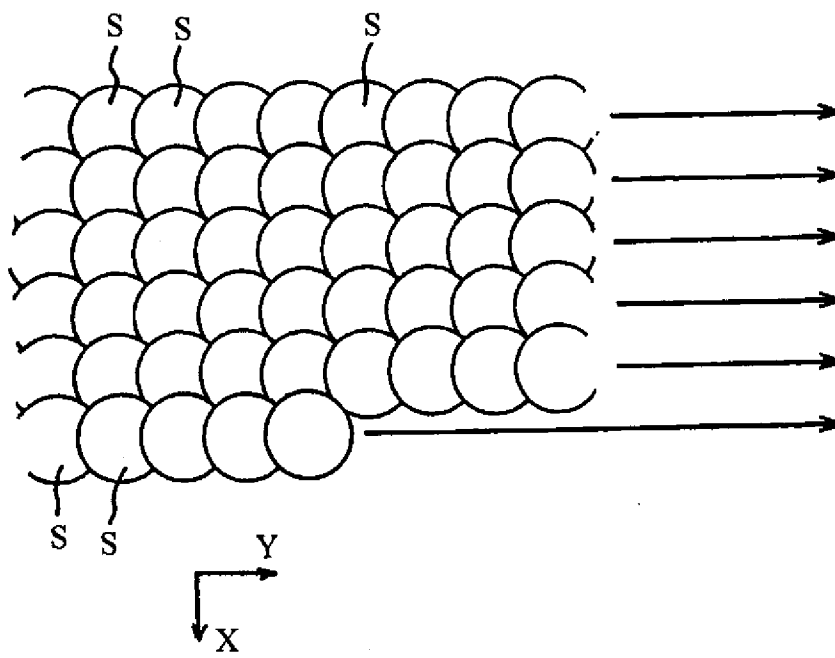
[図2]



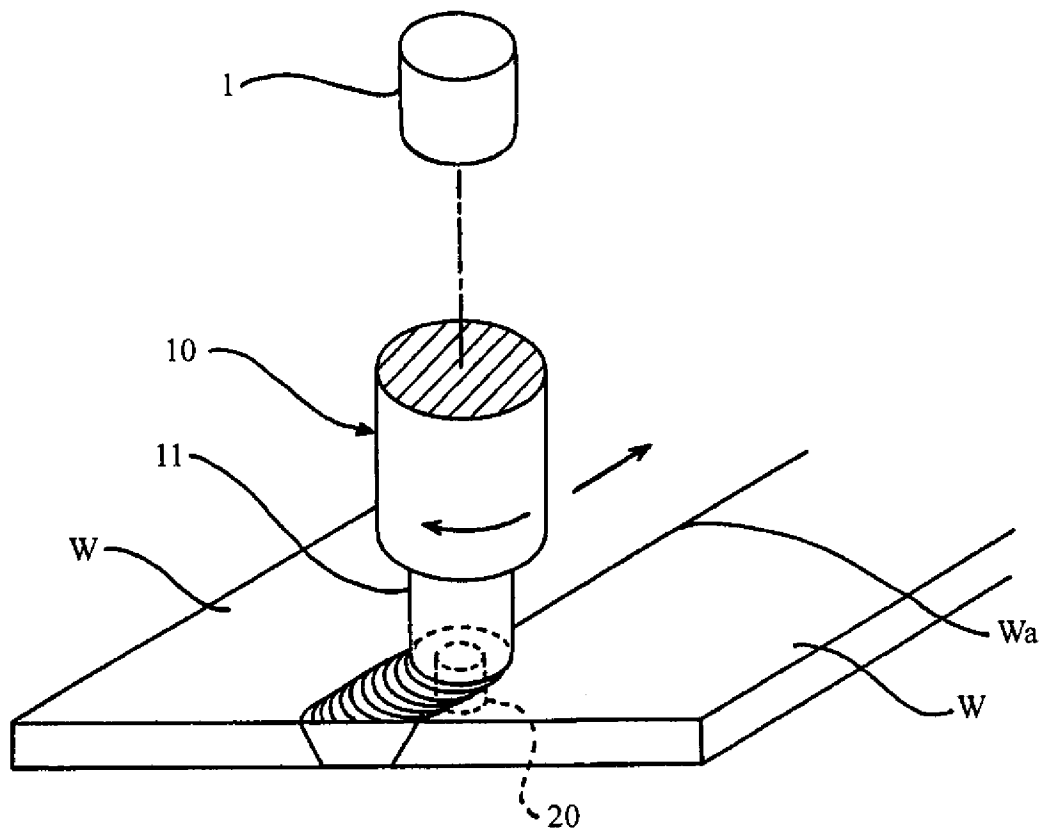
[図3]



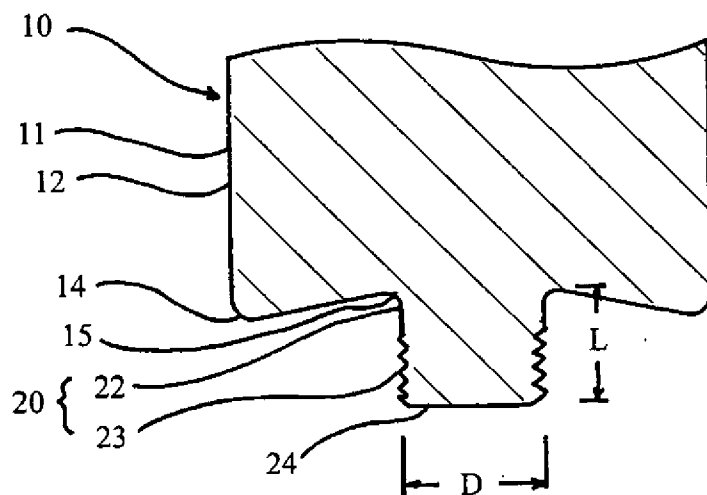
[図4]



[図5]

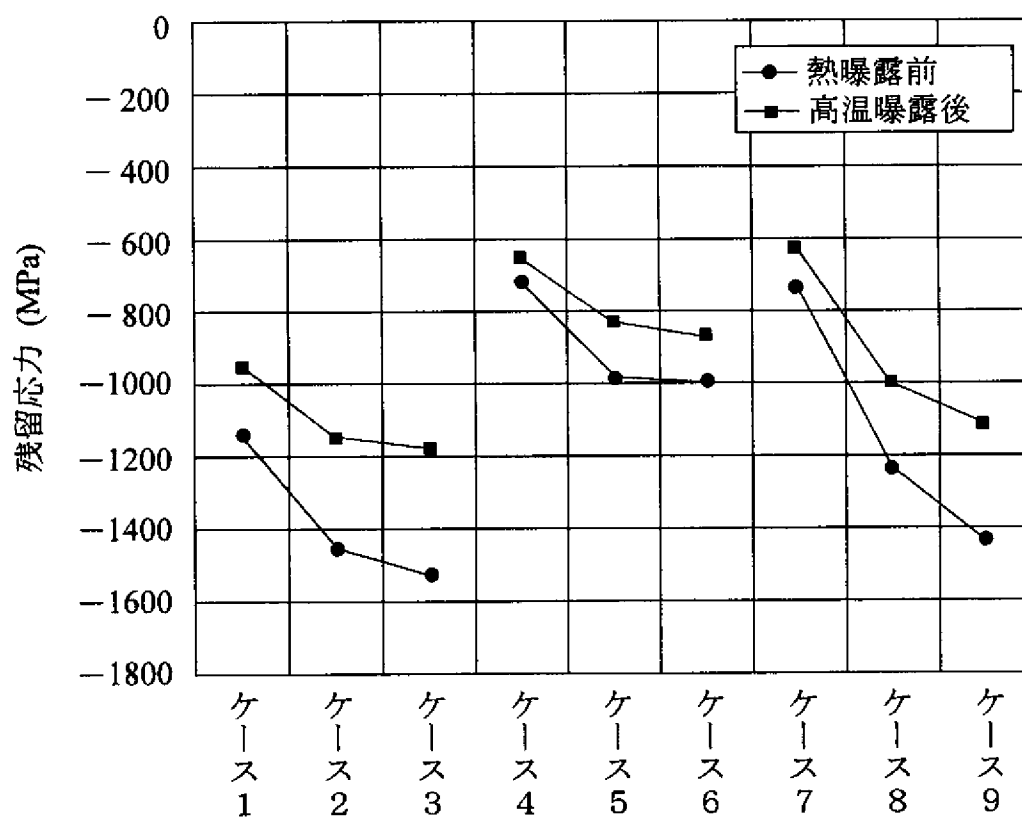


[図6]

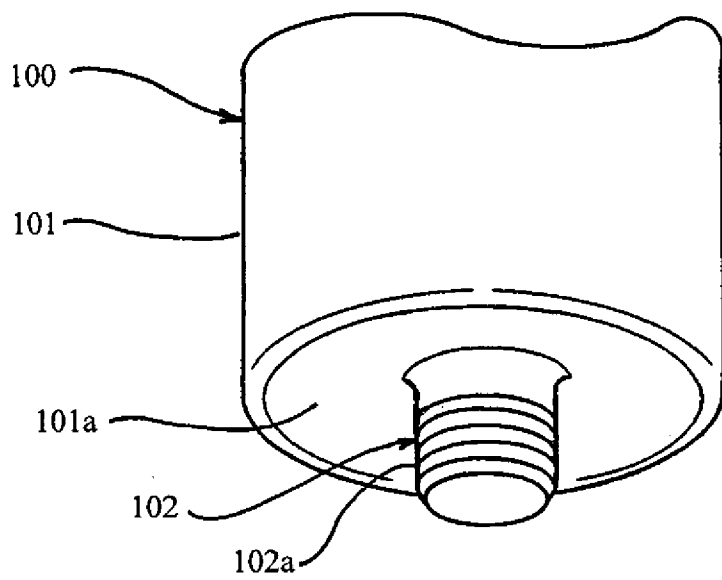


[図7]

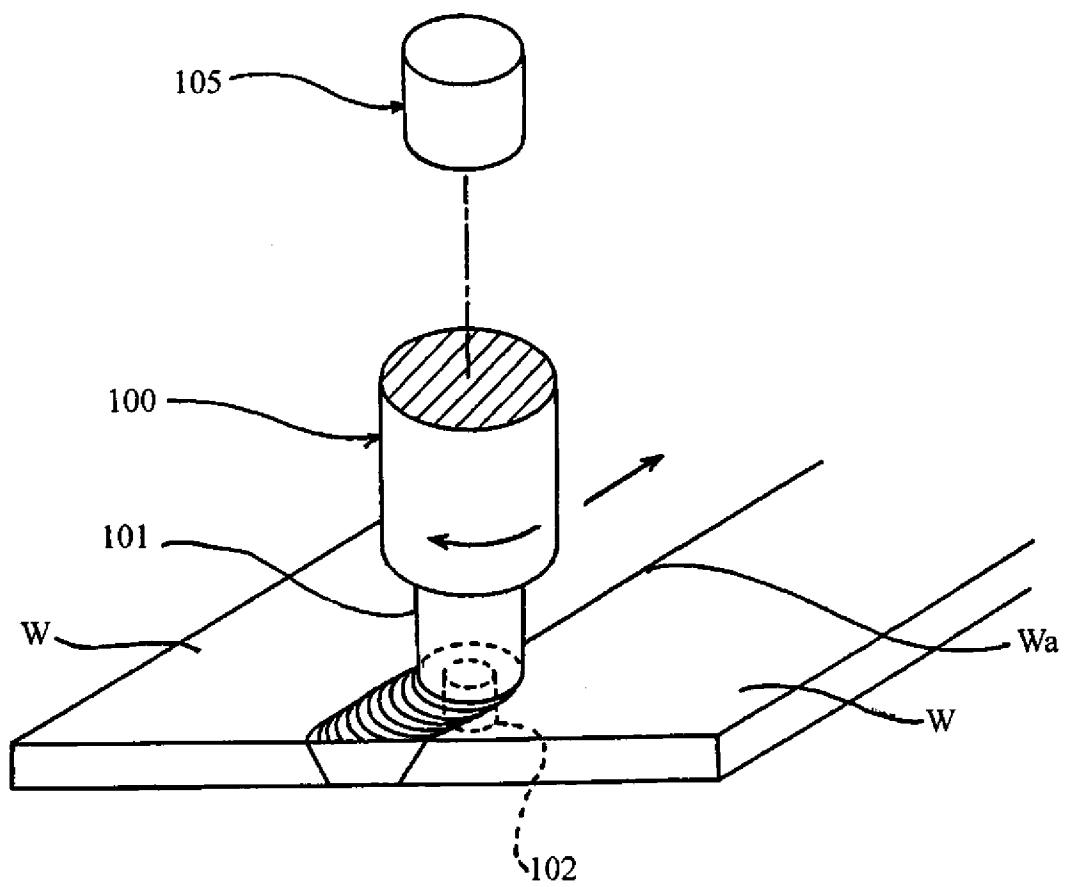
残留応力測定結果



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/061827

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K20/12 (2006.01) i, B23K26/00 (2006.01) n, C21D1/09 (2006.01) n

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)

B23K20/12, B23K26/00, C21D1/09

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2008/102209 A2 (H.C.STARCK LTD.), 28 August 2008 (28.08.2008), page 4, line 13 to page 19, line 18; claims; fig. 1 to 10 & JP 2010-520810 A & GB 616571 D & EP 2076352 A	1-3
Y	JP 2006-218541 A (Nippon Steel Corp.), 24 August 2006 (24.08.2006), entire text; drawings (Family: none)	1-3



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* 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
06 October, 2010 (06.10.10)

Date of mailing of the international search report
19 October, 2010 (19.10.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/061827

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-175777 A (The Regents of the University of California), 12 July 2007 (12.07.2007), entire text; drawings & JP 2003-504212 A & US 2002/0096504 A1 & US 6410884 B1 & EP 1212472 A & EP 1627929 A1 & EP 1483418 A & WO 2001/005549 A2 & WO 2003/078669 A1	1-3
Y	JP 2008-248270 A (Toshiba Corp.), 16 October 2008 (16.10.2008), entire text; drawings (Family: none)	1-3
A	JP 2008-30096 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 14 February 2008 (14.02.2008), entire text; drawings & US 2008/0023524 A1 & EP 1882543 A1 & KR 10-2008-0011034 A	1-3
A	JP 2008-114258 A (Hitachi, Ltd., Tohoku University), 22 May 2008 (22.05.2008), entire text; drawings & US 2008/0128472 A1 & EP 1918059 A1 & CN 101176944 A	1-3

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. B23K20/12(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)n, C21D1/09(2006.01)n			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. B23K20/12, B23K26/00, C21D1/09			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 日本国公開実用新案公報 日本国実用新案登録公報 日本国登録実用新案公報 1 9 2 2－1 9 9 6 年 1 9 7 1－2 0 1 0 年 1 9 9 6－2 0 1 0 年 1 9 9 4－2 0 1 0 年			
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
Y	WO 2008/102209 A2 (H. C. S T A R C K L T D) 2008.08.28, 第4ページ第13行－第19ページ第18行、特許請求の範囲、及び図 1－図10 & JP 2010-520810 A & GB 616571 D & EP 2076352 A	1-3	
Y	JP 2006-218541 A (新日本製鐵株式会社) 2006.08.24, 全文及び図面（ファミリーなし）	1-3	
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 0 6 . 1 0 . 2 0 1 0		国際調査報告の発送日 1 9 . 1 0 . 2 0 1 0	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号1 0 0－8 9 1 5 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 松本 公一 電話番号 0 3－3 5 8 1－1 1 0 1 内線 3 3 6 4	3 P 3 5 0 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2007-175777 A (ザ、リージェンツ、オブ、ザ、ユニバーシティ、オブ、カリフォルニア) 2007. 07. 12, 全文及び図面 & JP 2003-504212 A & US 2002/0096504 A1 & US 6410884 B1 & EP 1212472 A & EP 1627929 A1 & EP 1483418 A & WO 2001/005549 A2 & WO 2003/078669 A1	1-3
Y	JP 2008-248270 A (株式会社東芝) 2008. 10. 16, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2008-30096 A (川崎重工業株式会社) 2008. 02. 14, 全文及び図面 & US 2008/0023524 A1 & EP 1882543 A1 & KR 10-2008-0011034 A	1-3
A	JP 2008-114258 A (株式会社日立製作所、国立大学法人東北大学) 2008. 05. 22, 全文及び図面 & US 2008/0128472 A1 & EP 1918059 A1 & CN 101176944 A	1-3