

明 細 書

発明の名称：

積層造形熱間工具およびその製造方法、ならびに、積層造形熱間工具用金属粉末

技術分野

[0001] 本発明は、積層造形法によって製造され、プレス金型や鍛造金型、ダイカスト金型、押出工具といった多種の用途に最適な熱間工具とその製造方法、および、その熱間工具の製造に用いることができる金属粉末に関するものである。

背景技術

[0002] 熱間工具は、高温の被加工材や硬質な被加工材と接触しながら使用されるため、衝撃に耐え得る靱性を備えている必要がある。そして、従来、熱間工具材料には、例えばJ I S鋼種であるSKD 6 1系の合金工具鋼が用いられていた。また、最近の更なる靱性向上の要求に応じて、SKD 6 1系の合金工具鋼の成分組成を改良した合金工具鋼が提案されている。

[0003] 熱間工具材料は、通常、溶製法（i n g o t m a k i n g）によって作製した鋼塊または鋼塊を分塊加工した鋼片でなる素材を出発材料として、これに様々な熱間加工や熱処理を行って所定の鋼材とし、この鋼材に焼鈍処理を行って仕上げられる。そして、熱間工具材料は、通常、硬さの低い焼鈍状態で、熱間工具の作製メーカーに供給される。作製メーカーに供給された熱間工具材料は、熱間工具の形状に機械加工された後に、焼入れ焼戻しによって所定の使用硬さに調整される。そして、この使用硬さに調整された後に、仕上げの機械加工を行うことが一般的である。また、場合によっては、焼鈍状態の熱間工具材料に、先に焼入れ焼戻しを行ってから、上記の仕上げの機械加工も合わせて、熱間工具の形状に機械加工されることもある。焼入れとは、熱間工具材料を（または、機械加工された後の熱間工具材料を）オーステナイト温度域にまで加熱し、これを急冷することで、組織をマルテンサイ

ト変態させる作業である。よって、熱間工具材料の成分組成は、焼入れによってマルテンサイト組織に調整できるものとなっている。

- [0004] ところで、最近、複雑な形状を有する金属製品をニアネットシェイプで容易に形成できる手段として、積層造形法が注目されている。積層造形法とは、一般的には3Dプリンティングとも呼ばれる、付加製造技術（*additive manufacturing*）のことである。そして、積層造形法の種類として、例えば、金属粉末に熱源を照射して溶かしながら積層していくパウダースプレー法や、ステージ上に敷き詰めた金属粉末に熱源を照射して熔融し、これを凝固させる作業を繰り返して積層していくパウダーベッド法がある。積層造形法によれば、複雑な形状を有する金属製品を、従来の機械加工工程を大きく省略して作製できる。そして、熱間工具の分野においても、上記の積層造形法によって作製した「積層造形熱間工具」が提案されている（特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2016-145407号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 積層造形法を用いることで、複雑な形状を有した「積層造形熱間工具」を作製することができる。そして、溶製法によって作製された熱間工具と比べて、それと同じ硬さに調整した積層造形熱間工具は、優れた靱性が期待できる。しかし、実際に作製した積層造形熱間工具の場合、優れた靱性を達成できないものがあった。

- [0007] 本発明の目的は、靱性に優れた積層造形熱間工具とその製造方法、および、その熱間工具の製造に用いることができる金属粉末を提供するものである。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明は、質量%で、C : 0.3~0.5%、Si : 2.0%以下、Mn : 1.5%以下、P : 0.05%以下、S : 0.05%以下、Cr : 3.0~6.0%、 $(Mo + 1/2W)$ の関係式によるMoおよびWのうちの1種または2種 : 0.5~3.5%、V : 0.1~1.5%、Ni : 0~1.0%、Co : 0~1.0%、Nb : 0~0.3%を含み、残部がFeおよび不純物である成分組成を有し、積層方向と平行な断面において、面積が $1\mu m^2$ 以上の欠陥の面積率が0.6%以下の積層造形熱間工具である。

好ましくは、硬さが40~50HRCの積層造形熱間工具である。

[0009] また、本発明は、質量%で、C : 0.3~0.5%、Si : 2.0%以下、Mn : 1.5%以下、P : 0.05%以下、S : 0.05%以下、Cr : 3.0~6.0%、 $(Mo + 1/2W)$ の関係式によるMoおよびWのうちの1種または2種 : 0.5~3.5%、V : 0.1~1.5%、Ni : 0~1.0%、Co : 0~1.0%、Nb : 0~0.3%を含み、残部がFeおよび不純物である成分組成を有する金属粉末をステージ上に敷き詰めて、このステージ上に敷き詰めた金属粉末に熱源を走査しながら照射し、金属粉末を部分的に溶融させて凝固させる作業を、熱源の走査方向の上方に重ねて繰り返し行うことで、積層造形物を形成する積層造形工程と、この積層造形工程で形成した積層造形物に、焼戻し温度が500~700℃の焼戻しを行う熱処理工程と、を含む積層造形熱間工具の製造方法である。

好ましくは、上記の熱処理工程で、焼戻しを行う前に、焼入れ温度が900~1100℃の焼入れを行うものである。そして、このとき、より好ましくは、焼入れ温度を1010℃以下とする。あるいは、上記の熱処理工程で、上記の焼戻しを行う前に、焼入れを行わないこともできる。そして、好ましくは、これらの熱処理工程で、硬さを40~50HRCに調整する積層造形熱間工具の製造方法である。

[0010] そして、本発明は、質量%で、C : 0.3~0.5%、Si : 2.0%以下、Mn : 1.5%以下、P : 0.05%以下、S : 0.05%以下、Cr : 3.0~6.0%、 $(Mo + 1/2W)$ の関係式によるMoおよびWのう

ちの１種または２種：０．５～３．５％、Ｖ：０．１～１．５％、Ｎｉ：０～１．０％、Ｃｏ：０～１．０％、Ｎｂ：０～０．３％を含み、残部がＦｅおよび不純物である成分組成を有する積層造形熱間工具用金属粉末である。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、積層造形熱間工具の靱性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図１]本発明例の積層造形熱間工具の積層方向と平行な断面に確認される欠陥の一例を示す光学顕微鏡写真である。

[図２]比較例の積層造形熱間工具の積層方向と平行な断面に確認される欠陥の一例を示す光学顕微鏡写真である。

[図３]本発明例の積層造形熱間工具の積層方向と平行な断面に確認されるバナジウム炭化物の一例を示す透過型電子顕微鏡写真である。

[図４]本発明例の積層造形熱間工具の積層方向と平行な断面に確認されるバナジウム炭化物の一例を示す透過型電子顕微鏡写真である。

発明を実施するための形態

[0013] 本発明の特徴は、熱間工具鋼の成分組成でなる積層造形熱間工具の靱性が、その積層造形法という特別な製造工程に起因して生じる、工具中の「欠陥」に影響を受けていることを見いだした点にある。以下、本発明の各要件について、その好ましい要件も合わせて、説明する。

[0014] (１) 本発明の積層造形熱間工具は、質量％で、Ｃ：０．３～０．５％、Ｓｉ：２．０％以下、Ｍｎ：１．５％以下、Ｐ：０．０５％以下、Ｓ：０．０５％以下、Ｃｒ：３．０～６．０％、 $(Mo + 1/2W)$ の関係式によるＭｏおよびＷのうちの１種または２種：０．５～３．５％、Ｖ：０．１～１．５％、Ｎｉ：０～１．０％、Ｃｏ：０～１．０％、Ｎｂ：０～０．３％を含み、残部がＦｅおよび不純物である成分組成を有するものである。

従来、熱間工具の素材に、焼入れ焼戻しによってマルテンサイト組織を発現する成分組成のものが用いられていることは、上述の通りである。マルテンサイト組織は、各種の熱間工具の絶対的な靱性を基礎付ける上で必要な組

織である。そして、本発明の積層造形熱間工具の場合、その成分組成は、以下の通りとする。

[0015] ・ C : 0.3 ~ 0.5 質量% (以下、単に「%」と表記)

Cは、一部が基地中に固溶して強度を付与し、一部は炭化物を形成することで耐摩耗性や耐焼付き性を高める、熱間工具の基本元素である。また、侵入型原子として固溶したCは、CrなどのCと親和性の大きい置換型原子と共に添加した場合に、I (侵入型原子) - S (置換型原子) 効果 (溶質原子の引きずり抵抗として作用し、熱間工具を高強度化する作用) も期待される。但し、過度の含有は靱性や熱間強度の低下を招く。よって、0.3 ~ 0.5 %とする。好ましくは0.34 %以上である。また、好ましくは0.40 %以下である。

[0016] ・ Si : 2.0 %以下

Siは、溶鋼の成分組成を調整するときの脱酸剤であるが、多過ぎると焼戻し後の工具組織中にフェライトの生成を招く。よって、2.0 %以下とする。好ましくは1.0 %以下である。より好ましくは0.8 %以下、さらに好ましくは0.5 %以下である。よりさらに好ましくは0.4 %以下である。一方、Siには、材料の被削性を高める効果がある。この効果を得るためには、0.2 %以上の含有が好ましい。より好ましくは0.3 %以上である。

[0017] ・ Mn : 1.5 %以下

Mnは、多過ぎると基地の粘さを上げて、材料の被削性を低下させる。よって、1.5 %以下とする。好ましくは1.0 %以下である。より好ましくは0.75 %以下、さらに好ましくは0.7 %以下である。一方、Mnには、焼入性を高め、工具組織中のフェライトの生成を抑制し、適度の焼入れ焼戻し硬さを得る効果がある。また、非金属介在物のMnSとして存在することで、被削性の向上に大きな効果がある。これらの効果を得るためには、0.1 %以上の含有が好ましい。より好ましくは0.25 %以上である。さらに好ましくは0.45 %以上、よりさらに好ましくは0.55 %以上である。

。

[0018] ・ P : 0.05%以下

Pは、通常、添加しなくても、各種の熱間工具に不可避免的に含まれ得る元素である。そして、焼戻しなどの熱処理時に旧オーステナイト粒界に偏析して粒界を脆化させる元素である。したがって、熱間工具の靱性を向上するためには、添加する場合も含めて、0.05%以下に規制する。好ましくは0.03%以下であり、より好ましくは0.01%以下である。

[0019] ・ S : 0.05%以下

Sは、通常、添加しなくても、各種の熱間工具に不可避免的に含まれ得る元素である。そして、介在物を形成して、靱性を低下させる元素である。したがって、本発明では、0.05%以下に規制する。好ましくは0.01%以下であり、より好ましくは0.005%以下である。一方、Sには、上述のMnと結合して、非金属介在物のMnSとして存在することで、被削性を向上する効果がある。この効果を得るためには、0.03%以上の含有が好ましい。

[0020] ・ Cr : 3.0～6.0%

Crは、焼入性を高め、また炭化物を形成して、基地の強化や耐摩耗性、靱性の向上に効果を有する熱間工具の基本元素である。但し、過度の含有は、焼入性や高温強度の低下を招く。よって、Crは、3.0～6.0%とする。好ましくは5.5%以下である。より好ましくは5.0%以下である。さらに好ましくは4.5%以下であり、よりさらに好ましくは4.3%以下である。また、好ましくは3.5%以上である。より好ましくは3.6%以上、よりさらに好ましくは3.7%以上である。本発明では、後述する熱間工具中の欠陥の低減による靱性向上の効果を得ているので、その効果分のCrを下げるのが可能である。この場合、例えば、Crを5.0%以下とすることで、さらには4.5%以下や4.3%以下とすることで、熱間工具の高温強度の更なる向上を達成することができる。

[0021] ・ (Mo + 1/2W) の関係式によるMoおよびWのうちの1種または2種

: 0.5 ~ 3.5 %

M_oおよびWは、焼戻しにより微細炭化物を析出または凝集させて強度を付与し、軟化抵抗を向上させるために、単独または複合で含有させることができる。この際の含有量は、WがM_oの約2倍の原子量であることから、 $(M_o + 1/2 W)$ の関係式で定義されるM_o当量と一緒に規定できる（当然、いずれか一方のみの含有としても良いし、双方を共に含有させることもできる）。そして、上記の効果を得るためには、 $(M_o + 1/2 W)$ の関係式による値で、0.5 %以上の含有とする。好ましくは1.5 %以上である。より好ましくは1.7 %以上である。さらに好ましくは2.0 %以上、よりさらに好ましくは2.1 %以上である。但し、多過ぎると被削性や靱性の低下を招くので、 $(M_o + 1/2 W)$ の関係式による値で、3.5 %以下とする。好ましくは3.0 %以下である。より好ましくは2.7 %以下である。さらに好ましくは2.6 %以下、よりさらに好ましくは2.5 %以下である。

[0022] ・ V : 0.1 ~ 1.5 %

Vは、バナジウム炭化物を形成して、基地の強化や耐摩耗性、焼戻し軟化抵抗を向上する効果を有する。そして、積層造形工程で形成した積層造形物を焼入れ温度に加熱して「焼入れ」を行う場合、上記のバナジウム炭化物は、焼入れ加熱時のオーステナイト結晶粒の粗大化を抑制する“ピン止め粒子”としても働き、靱性の向上に寄与する。但し、Vが多過ぎると、被削性の低下を招く。よって、Vは、0.1 ~ 1.5 %とする。好ましくは0.3 %以上である。より好ましくは0.4 %以上である。さらに好ましくは0.5 %以上、よりさらに好ましくは0.6 %以上である。また、好ましくは1.0 %以下である。より好ましくは0.9 %以下である。さらに好ましくは0.8 %未満、よりさらに好ましくは0.78 %以下である。

[0023] そして、上記元素種の他には、下記元素種の含有も可能である。

・ Ni : 0 ~ 1.0 %

Niは、工具組織中のフェライトの生成を抑制する元素である。また、C

、Cr、Mn、Mo、Wなどとともに工具材料に優れた焼入性を付与し、焼入時の冷却速度が緩やかな場合でもマルテンサイト主体の組織を形成して、韌性の低下を防ぐための効果的要素である。さらに、基地の本質的な韌性も改善するので、本発明では必要に応じて含有してもよい。含有する場合、0.1%以上が好ましい。但し、過多のNiは、基地の粘さを上げて被削性を低下させる要素である。よって、Niは、含有する場合でも、1.0%以下とする。好ましくは0.5%未満、より好ましくは0.3%未満、さらに好ましくは0.2%未満である。

[0024] ・Co : 0~1.0%

Coは、熱間工具の使用において、その昇温時の表面に極めて緻密で密着性の良い保護酸化皮膜を形成する。この酸化皮膜は、相手材との間の金属接触を防ぎ、工具表面の温度上昇を抑制するとともに、優れた耐摩耗性をもたらす。よって、Coは、必要に応じて含有してもよい。含有する場合、0.1%以上が好ましく、0.2%以上がより好ましい。0.3%以上がさらに好ましい。但し、過多のCoは、韌性を低下させるので、含有する場合でも、1.0%以下とする。好ましくは0.8%未満、より好ましくは0.7%未満である。さらに好ましくは0.6%未満、よりさらに好ましくは0.5%未満である。

[0025] ・Nb : 0~0.3%

Nbは、炭化物を形成し、基地の強化や耐摩耗性を向上する効果を有する。また、焼戻し軟化抵抗を高めるとともに、Vと同様、結晶粒の粗大化を抑制し、韌性の向上に寄与する効果を有する。よって、Nbは、必要に応じて含有してもよい。含有する場合、0.01%以上が好ましい。より好ましくは0.05%以上、さらに好ましくは0.1%以上である。但し、過多のNbは、被削性の低下を招くので、含有する場合でも、0.3%以下とする。好ましくは0.25%未満、より好ましくは0.2%未満である。

[0026] Cu、Al、Ca、Mg、O（酸素）、N（窒素）は、不可避免的不純物として熱間工具中に残留する可能性のある元素である。本発明において、これ

ら元素はできるだけ低い方が好ましい。しかし一方で、介在物の形態制御や、その他の機械的特性、そして製造効率の向上といった付加的な作用効果を得るために、少量を含有してもよい。この場合、 $Cu \leq 0.25\%$ 、 $Al \leq 0.04\%$ 、 $Ca \leq 0.01\%$ 、 $Mg \leq 0.01\%$ 、 $O \leq 0.05\%$ 、 $N \leq 0.05\%$ の範囲であれば十分に許容でき、本発明の好ましい規制上限である。Alについて、より好ましくは 0.025% 以下である。

[0027] (2) 本発明の積層造形熱間工具は、積層方向と平行な断面において、面積が $1 \mu m^2$ 以上の欠陥の面積率が 0.6% 以下のものである。

本発明の熱間工具は、積層造形法によって作製されたものである。この場合、積層造形法では、金属粉末という“小さな単位”が部分的に溶融して凝固するので、形成された積層造形物中には、空孔、空隙、気孔、ブローホール、ピンホールといった類の「欠陥（言わば、鑄造欠陥）」が生じやすい。そして、この欠陥は、後の熱処理工程（焼入れや焼戻し）によっても消失せず、最終製品である熱間工具中に残留する。

[0028] このような状態において、まず、積層造形熱間工具中の欠陥は、積層造形工程時における各層ごとで生じるため、積層造形熱間工具に生じている欠陥を評価するためには、各層を含んだ断面である「積層方向と平行な断面」を観察するのが適当である。図1、2は、積層造形熱間工具の積層方向と平行な断面に確認される欠陥の一例を示す光学顕微鏡写真である（倍率100倍）。写真の素地中に確認される濃色の部位が欠陥である。そして、本発明者が研究したところ、具体的には、積層造形熱間工具の積層方向と平行な断面において、面積が $1 \mu m^2$ 以上の欠陥の面積率が概ね「 0.6% 」であるところに、靱性が変化する顕著な境があり、上記の面積率を 0.6% 以下にすることで、積層造形熱間工具の靱性が顕著に向上することを見いだした。好ましくは 0.4% 以下、より好ましくは 0.2% 以下、さらに好ましくは 0.08% 以下、特に好ましくは 0.05% 以下である。なお、 0% が最も好ましいことは、言うまでもない。

[0029] 上記の「面積が $1 \mu m^2$ 以上の欠陥」の分析には、例えば、光学顕微鏡を利

用することができる。まず、積層造形熱間工具の中心部の位置から、この積層造形熱間工具の積層方向と平行な断面を採取する。このとき、この断面が「積層方向と平行であること」は、積層造形熱間工具中の積層跡や工具形状等から確認することができる。積層造形工具は、その積層造形工程において、通常、所定の形状を有した工具の仕事面（作業面）の方向に積層される。次に、この断面の縦 $1200\mu\text{m}$ ×横 $1700\mu\text{m}$ の領域を1視野として、光学顕微鏡（倍率100倍）で3視野撮影する（図1、2）。そして、この撮影した各視野について、欠陥と素地との境界が明確になるように二値化処理を行い、視野に占める面積が $1\mu\text{m}^2$ 以上の欠陥の面積率を測定して、その測定値の3視野の平均を、本発明に係る「面積が $1\mu\text{m}^2$ 以上の欠陥の面積率」とすることができる。

[0030] 積層造形法によって作製された熱間工具は、通常、その内部に、大きさが数ミクロンから数十ミクロンといった“小さな”欠陥が多く存在している。この点において、積層造形法によって作製された熱間工具は、溶製法によって作製された熱間工具と区別される。そして、面積が $1\mu\text{m}^2$ 以上の欠陥が低減された本発明の積層造形熱間工具であっても、その面積よりも“さらに小さな”欠陥は多く存在し得て、溶製法による熱間工具と区別することができる。

[0031] （3）本発明の積層造形熱間工具の製造方法は、上述した（1）の成分組成を有する金属粉末をステージ上に敷き詰めて、このステージ上に敷き詰めた金属粉末に熱源を走査しながら照射し、金属粉末を部分的に溶融させて凝固させる作業を、熱源の走査方向の上方に重ねて繰り返し行うことで、積層造形物を形成する積層造形工程を含むものである。

本発明の積層造形熱間工具は、従来知られるパウダーベッド法に基づいて作製することができる。つまり、所定の金属粉末をステージ上に敷き詰めて、このステージ上に敷き詰めた金属粉末に熱源を走査しながら照射し、部分的に金属粉末を溶融させて、凝固させる作業を、熱源の走査方向の上方に重ねて繰り返し行う積層造形工程によって積層造形物を形成するものである。

なお、上記の熱源には、レーザーや電子ビームを用いることができる。そして、上記の所定の金属粉末に、上述した成分組成を有する金属粉末を用いて、この金属粉末に熱源を走査しながら照射することで、積層造形物中の欠陥を減らすことが可能であることを見出した。そして、上記の積層造形工程で形成された積層造形物に、さらに、焼入れや焼戻しを含む熱処理工程を行うことで、本発明の積層造形熱間工具とすることが可能である。

[0032] 上述した成分組成を有する金属粉末に熱源を走査しながら照射するときの積層造形条件として、例えば、熱源の走査速度を400mm/秒以上とすることが好ましい。また、熱源の走査速度を1800mm/秒以下とすることが好ましい。熱源の走査速度が大きすぎると、金属粉末が十分な熱を得られないことによって、金属粉末が十分に熔融せず、その結果、凝固後の積層造形物中に上記の欠陥（空孔）が多く形成されやすくなる。一方、熱源の走査速度が小さすぎると、金属粉末に過剰な熱が与えられて、溶湯の流動が盛んになり、これがガスを巻き込むことで、かえって、凝固後の積層造形物中に欠陥（気泡）が混入しやすい。より好ましくは500mm/秒以上、さらに好ましくは600mm/秒以上である。また、より好ましくは1500mm/秒以下、さらに好ましくは1300mm/秒以下、よりさらに好ましくは1100mm/秒以下である。そして、よりさらに好ましくは1000mm/秒以下、特に好ましくは900mm/秒以下である。

[0033] また、上述した成分組成を有する金属粉末に熱源を走査しながら照射するときの積層造形条件として、例えば、熱源のエネルギー密度を50J/mm³以上とすることが好ましい。また、熱源のエネルギー密度を150J/mm³以下とすることが好ましい。熱源のエネルギー密度は、以下の式で表される。

$$\begin{aligned} & \text{熱源のエネルギー密度 (J/mm}^3\text{)} \\ &= \text{熱源の出力 (W)} / [\text{熱源の走査速度 (mm/秒)} \times \text{熱源の走査ピッチ (mm)} \times \text{一走査あたりの積層厚さ (mm)}] \end{aligned}$$

[0034] 熱源のエネルギー密度が高すぎると、金属粉末に過剰な熱が与えられて、

溶湯の流動が盛んになり、これがガスを巻き込むことで、凝固後の積層造形物中に欠陥（気泡）が混入しやすい。一方、エネルギー密度が低すぎると、金属粉末を十分に溶融できなくなり、凝固後の造形物中には、金属粉末の隙間に由来する欠陥（空孔）が多く形成されやすくなる。そして、本発明においては、エネルギー密度を 50 J/mm^3 以上、または、 150 J/mm^3 以下の好ましい範囲とすることで、目的とする積層造形物の組織を得られやすいことを確認した。より好ましくは 52 J/mm^3 以上、さらに好ましくは 53 J/mm^3 以上である。また、より好ましくは 120 J/mm^3 以下、さらに好ましくは 100 J/mm^3 以下である。よりさらに好ましくは 80 J/mm^3 以下である。

[0035] なお、熱源の出力、熱源の走査ピッチ、一走査あたりの積層厚さについて、好ましい範囲等は以下の通りである。

まず、熱源の出力が低すぎると、金属粉末を十分に溶融できなくなり、凝固後の造形物中には、金属粉末の隙間に由来する欠陥（空孔）が多く形成されやすい。したがって、熱源の出力を 50 W 以上とすることが好ましい。より好ましくは 100 W 以上、さらに好ましくは 150 W 以上である。

熱源の出力の上限については、適宜、設定することができる。そして、例えば、 400 W や 350 W 、 300 W といった値を設定することができる。熱源の出力が高すぎると、上述の通り、熱源のエネルギー密度が高くなって、凝固後の積層造形物中に欠陥が混入しやすい。

[0036] 次に、熱源の走査ピッチが大きくなりすぎると、熱源の照射時に、敷き詰められた金属粉末を全面で溶融することが難しくなって、これも凝固後の積層造形物の内部に欠陥（空孔）が形成される要因となり得る。なお、熱源の走査ピッチとは、走査する熱源のビーム間距離（熱源どうしの離間距離）のことである。そして、熱源の走査ピッチが小さくなりすぎると、金属粉末に過剰な熱が与えられて、溶湯の流動が盛んになり、これがガスを巻き込むことで、凝固後の積層造形物中に欠陥（気泡）が混入しやすい。

[0037] そして、一走査あたりの積層厚さが小さすぎると、所定の積層造形物の大

きさにするまでの積層数が多くなって、積層造形工程に要する時間が長くなる。「一走査あたりの積層厚さ」とは、一層々々を造形するときに敷き詰めた「一層毎の金属粉末層の厚さ」のことである。そして、一走査あたりの積層厚さを、例えば、 0.01 mm 以上にすることが好ましい。より好ましくは 0.02 mm 以上である。但し、一走査あたりの積層厚さが大きすぎると、熱源の照射時に、敷き詰められた金属粉末の全体に熱が伝わり難くなって、金属粉末が十分に熔融し難くなる。

熱源の走査ピッチと一走査あたりの積層厚さの適正值は、上述した熱源の走査速度と出力とに依存する。よって、熱源の走査ピッチと一走査あたりの積層厚さは、熱源の走査速度と出力とを定めた後に、例えば、上述した熱源のエネルギー密度の値にも考慮して、積層造形熱間工具の欠陥の面積率が所望の値となるように適切に設定することができる。

[0038] なお、本発明の積層造形熱間工具を作製するにおいて、上記の積層造形工程で用いる金属粉末は、例えば、レーザー回折・散乱法を用いて測定した際の金属粉末のメジアン径 $D50$ を $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることができる。そして、この $D50$ を有した金属粉末に対して、この $D50$ の値よりも大きい直径を有する熱源を用いることができる。金属粉末の $D50$ を $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることで、金属粉末をステージ上に均等に敷き詰められる点で好ましい。より好ましくは $150\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。さらに好ましくは $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下、よりさらに好ましくは $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。なお、下限については、例えば、熱源を照射中に金属粉末が飛散し難いという点で、 $10\text{ }\mu\text{m}$ が好ましい。より好ましくは $20\text{ }\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは $30\text{ }\mu\text{m}$ である。そして、熱源の直径を金属粉末の $D50$ よりも大きくすることで、金属粉末の集合を均等に熔融できる点で好ましい。熱源の直径は、例えば、その熱源のフォーカスの幅で特定することができる。

[0039] (4) 本発明の積層造形熱間工具の製造方法は、上述した(3)の積層造形工程で形成した積層造形物に、焼戻し温度が $500\sim700^{\circ}\text{C}$ の焼戻しを行う熱処理工程と、を含むものである。

上記の積層造形工程で形成した積層造形物は、これに焼戻しを行うことによって、所定の硬さを有した「積層造形熱間工具」の製品に整えることができる。そして、この間で、上記の積層造形物は、切削や穿孔といった各種の機械加工等によって、熱間工具の形状に整えることができる。この場合、機械加工を容易にするため、上記の積層造形工程で形成した積層造形物に焼きなましを行うことができる。焼きなましは、焼戻し後の積層造形熱間工具の組織中のバナジウム炭化物を微細にする効果も期待できる。そして、焼戻し後に仕上げの機械加工を行ってもよい。また、場合によっては、この仕上げの機械加工も合わせて、焼戻しを行った後の積層造形物に、上記の機械加工を一括的に行って、積層造形熱間工具の製品に仕上げることもできる。

なお、上記の焼戻しの前には、焼入れを行うことができる。そして、上記の焼きなましの有無や前後によらず、積層造形工程で形成した積層造形物に焼きならしを行うことができる。

[0040] 焼戻しの温度は、狙い硬さ等によって異なるが、概ね500～700℃程度である。また、焼戻しの前に焼入れを行う場合、焼入れ温度は概ね900～1100℃程度である。例えば、熱間工具鋼の代表鋼種であるSKD61の場合、焼入れ温度は1000～1030℃程度、焼戻し温度は550～650℃程度である。

そして、焼戻し硬さは50HRC（ロックウェル硬さ）以下とすることが好ましい。より好ましくは48HRC以下である。また、40HRC以上とすることが好ましい。より好ましくは42HRC以上である。なお、本発明において硬さは、JIS Z 2245 「ロックウェル硬さ試験－試験方法」に記載の測定方法に準拠して測定することができ、ロックウェルCスケール硬さを用いるものとする。

[0041] このとき、本発明で上記の焼入れを行う場合、その焼入れ温度を「1010℃以下」とすることが好ましい。より好ましくは1000℃以下である。本発明の積層造形熱間工具は、上述した成分組成を有していることによって、その組織中に、クロム、モリブデン、タングステン、バナジウム等の炭化

物が存在している。そして、これら炭化物の中でも、バナジウム炭化物（V系炭化物）は、その後の焼入れ工程で固溶せずに、焼入れ加熱時に粗大化する炭化物である。そして、粗大なバナジウム炭化物は、積層造形熱間工具の靱性を劣化させ得る。そこで、本発明の積層造形熱間工具においては、このバナジウム炭化物を微細にすることで、上述した大きな欠陥の制限による本発明の“本来の”靱性向上効果を、有効に発揮させることができる。そして、微細なバナジウム炭化物はピン止め粒子としても機能し、焼戻し後の旧オーステナイト結晶粒の微細化にも寄与する。バナジウム炭化物を微細にするためには、上記の焼入れ工程で、その焼入れ温度を低くすることが効果的である。このことによって、本発明の積層造形熱間工具の更なる靱性向上に有効である。

[0042] （５）本発明の積層造形熱間工具の製造方法は、上述した（４）の熱処理工程で、焼戻しを行う前に、焼入れを行わないものである。

上述したバナジウム炭化物の微細化を更に進めたい場合、焼入れ自体を省略することもできる。つまり、本発明の積層造形熱間工具の製造方法は、（３）の積層造形工程で形成した積層造形物に行う熱処理工程を、上述した（４）の「焼戻し温度が５００～７００℃の焼戻しを行う熱処理工程」から、「加熱温度が５００～７００℃の熱処理を行う熱処理工程」に言い換えることができる。この焼入れの省略によって、バナジウム炭化物が粗大化する一要因である“焼入れ加熱”の過程自体を経ないので、バナジウム炭化物の更なる微細化に効果的である。また、焼入れ加熱の過程を経ないことで、積層造形時の微細な組織が、微細な旧オーステナイト結晶粒として積層造形熱間工具の状態でも維持されている。そして、省略された焼入れで得るはずだった作用効果は、（３）の積層造形工程で凝固後の積層造形物が冷却される過程で補完することができる（いわば、「直接焼入れ」である）。このとき、上記の積層造形工程の後に、焼きならしを行うことができる。これらのことによって、本発明の積層造形熱間工具の靱性向上に更に有効である。

この焼入れを省略する場合であっても、焼戻し硬さは５０ＨＲＣ以下とす

ることが好ましい。より好ましくは48HRC以下である。また、40HRC以上とすることが好ましい。より好ましくは42HRC以上である。

[0043] 以上のバナジウム炭化物の微細化に関して、図3は、上述した(4)の熱処理工程を実施して、焼入れ温度を1030℃としたものについて(後述する実施例1の積層造形熱間工具1である)、その積層造形熱間工具の積層方向と平行な断面に確認されるバナジウム炭化物の一例を示す透過型電子顕微鏡写真である(倍率50000倍)。そして、図4は、焼入れのみを省略して、上述した(5)の熱処理工程を実施したものについて(後述する実施例3の積層造形熱間工具1Bである)、その積層造形熱間工具の積層方向と平行な断面に確認されるバナジウム炭化物の一例を示す透過型電子顕微鏡写真である(倍率50000倍)。図3の場合、円相当径(面積円相当径である)が200nm程度のバナジウム炭化物が確認される(図中の中央にある濃色の粒子がバナジウム炭化物である)。そして、図4の場合、確認されるバナジウム炭化物はすべて円相当径が200nm未満である。

実施例 1

[0044] ガスアトマイズ法によって、表1の成分組成を有するD50が38.0μmの熱間工具鋼の金属粉末を準備した。そして、この金属粉末を用いて、パウダーベッド法による積層造形工程を実施して、縦12mm×横60mm×高さ12mmの積層造形物を作製した。積層造形には、レーザーを熱源とするEOS社製EOS-M290を使用した。表2に積層造形工程の条件を示す。

[0045] [表1]

mass %												
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V	Ni ^{※1}	Co ^{※1}	Nb ^{※1}	Fe ^{※2}
0.36	0.35	0.62	0.0030	0.0014	3.96	2.30	0.03	0.72	—	—	—	Bal.

※1 : 0.1%未満(無添加)

※2 : 不純物を含む(Cu≤0.25%、Al≤0.04%、Ca≤0.01%、Mg≤0.01%、O≤0.05%、N≤0.05%)

[0046]

[表2]

積層造形 条件	レーザー 出力 (W)	走査速度 (mm/s)	一走査あ たりの積 層厚さ (mm)	走査 ピッチ (mm)	エネルギー 密度 (J/mm ³)
1	200	800	0.04	0.09	69.4
2	200	1500	0.04	0.05	66.6
3	200	1000	0.04	0.09	55.6
4	250	1250	0.04	0.09	55.6
5	200	1750	0.04	0.05	57.1
6	200	1250	0.04	0.09	44.4
7	200	2000	0.04	0.05	50.0

[0047] 上記の積層造形物に、焼入れおよび焼戻しによる熱処理工程を行った（狙い硬さ43HRC）。焼入れは、焼入れ温度1030℃で1時間保持後、油冷するものとした。焼戻しは、硬さが43HRCになるように、焼戻し温度620～650℃の範囲で1時間保持後、空冷する焼戻しを2回以上繰り返すものとした。

そして、以上の熱処理工程を行って得た、積層造形条件1～7に対応する積層造形熱間工具1～7について、その積層方向と平行な断面を既述の要領で分析して、その断面における、面積が1μm²以上の欠陥の面積率を調べた。なお、既述の要領において、欠陥の面積率の調査に用いた3視野は、“同じ（一つの）断面”の中で位置を変えて採取した。図1は積層造形熱間工具1の光学顕微鏡写真であり、図2は積層造形熱間工具7の光学顕微鏡写真である。

また、積層造形熱間工具1～7について、その積層方向と直交する方向（レーザーの走査方向）の靱性を調べた。靱性の調査は、積層造形熱間工具から、その積層方向にノッチの長さ方向が合うように、シャルピー試験片を採取して、JIS Z 2242に則した2Uノッチシャルピー試験を各2回実施し、2回の平均値を求めた。

以上の結果を、表3に示す。表3より、面積が $1\mu\text{m}^2$ 以上の欠陥の面積率が低下するとともに、シャルピー衝撃値が向上した。そして、0.6%の欠陥の面積率を境にして、それ以下の欠陥の面積率で、シャルピー衝撃値が著しく向上した。

[0048] [表3]

積層造形熱間工具	欠陥の面積率 (%)	シャルピー衝撃値 (J/cm ²)	備考
1	0.02	63.6	本発明例
2	0.09	45.0	
3	0.10	38.7	
4	0.23	35.9	
5	0.54	35.2	
6	0.72	25.5	比較例
7	2.63	19.7	

実施例 2

[0049] 実施例1の積層造形熱間工具1、3について、その焼入れの際の焼入れ温度を 1030°C から 1000°C に低めた積層造形熱間工具1A、3Aを作製した。このとき、硬さが43HRCになるように、焼戻し温度 $620\sim 650^{\circ}\text{C}$ の範囲で1時間保持後、空冷する焼戻しを2回以上繰り返すものとした。焼戻し後の積層造形熱間工具1A、3Aの上記の欠陥の面積率は、積層造形熱間工具1、3のそれと同等であった。そして、積層造形熱間工具1A、3Aのシャルピー衝撃値を、実施例1と同じ要領で測定して、積層造形熱間工具1、3のそれと比較した。結果を、表4に示す。

[0050] [表4]

積層造形熱間工具	シャルピー衝撃値 (J/cm ²)	備考
1A	79.3	本発明例
3A	61.4	

[0051] 表4より、積層造形熱間工具1A、3Aのいずれにおいても、焼入れ温度

を 1 0 1 0℃以下に低めたことで、焼入れ温度を 1 0 3 0℃とした積層造形熱間工具 1、3 のシャルピー衝撃値を上回った。

実施例 3

[0052] 実施例 1 の積層造形熱間工具 1 について、その焼入れを省略して、焼戻しのみを行った積層造形熱間工具 1 B を作製した。このとき、硬さが 4 3 H R C になるように、焼戻し温度 6 2 0 ～ 6 5 0℃の範囲で 1 時間保持後、空冷する焼戻しを 2 回以上繰り返すものとした。焼戻し後の積層造形熱間工具 1 B の上記の欠陥の面積率は、積層造形熱間工具 1 のそれと同等であった。また、その組織中の旧オーステナイト粒は、凹凸の大きな形状であり、積層造形熱間工具 1 のものより微細であった。そして、積層造形熱間工具 1 B のシャルピー衝撃値を、実施例 1 と同じ要領で測定して、積層造形熱間工具 1、1 A のそれと比較した。結果を表 5 に示す。

[0053] [表5]

積層造形熱間工具	シャルピー衝撃値 (J/cm ²)	備考
1 B	8 3 . 4	本発明例

[0054] 表 5 より、積層造形熱間工具 1 B において、焼入れを省略して、焼戻しのみを行ったことで、焼入れを行った積層造形熱間工具 1、1 A のシャルピー衝撃値を上回った。

[0055] この出願は、2 0 1 8 年 5 月 1 4 日に出願された日本出願特願 2 0 1 8 - 0 9 2 8 7 6 を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。