

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-1508

(P2010-1508A)

(43) 公開日 平成22年1月7日(2010.1.7)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 3 C 8/66 (2006.01)	C 2 3 C 8/66	
C 2 1 D 1/06 (2006.01)	C 2 1 D 1/06	A
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 O 1 N
C 2 2 C 38/38 (2006.01)	C 2 2 C 38/38	

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2008-159173 (P2008-159173)	(71) 出願人	000003609
(22) 出願日	平成20年6月18日 (2008.6.18)		株式会社豊田中央研究所
			愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1
		(74) 代理人	100081776
			弁理士 大川 宏
		(72) 発明者	田中 浩司
			愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内
		(72) 発明者	高宮 博之
			愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内
		(72) 発明者	与語 康宏
			愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

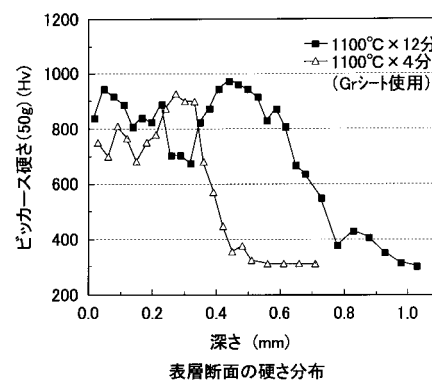
(54) 【発明の名称】 浸炭熱処理方法および浸炭源材

(57) 【要約】

【課題】迅速に効率よく行える浸炭熱処理方法を提供する。

【解決手段】本発明の鉄鋼材の浸炭熱処理方法は、鉄鋼材の表面部から内部へCを浸透させて鉄鋼材の内部よりも表面部にC濃度の高い浸炭層を形成する鉄鋼材の浸炭熱処理方法であって、浸炭源として鉄炭化物を用いることを特徴とする。鉄炭化物を浸炭源に用いることで、従来の浸炭法を用いた場合に比べ、ネットワーク状炭化物（粒界炭化物）のない正常な浸炭層を著しく迅速に形成することが可能となった。

【選択図】図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

鉄鋼材の表面部から内部へ炭素（C）を浸透させて該鉄鋼材の内部よりも該表面部に C 濃度の高い浸炭層を形成する鉄鋼材の浸炭熱処理方法であって、

鉄（Fe）と C の化合物である鉄炭化物よりなる浸炭源材を該鉄鋼材の表面に接触させる接触工程と、

該浸炭源材中の少なくとも C が該鉄鋼材へ拡散する温度以上の浸炭温度まで該鉄鋼材を加熱する浸炭加熱工程と、

該浸炭加熱工程後の鉄鋼材を冷却する冷却工程と、

からなることを特徴とする鉄鋼材の浸炭熱処理方法。

10

【請求項 2】

前記浸炭源材は、少なくとも前記浸炭温度まで、前記鉄炭化物の分解を抑制して安定化させる安定化元素を含む請求項 1 に記載の鉄鋼材の浸炭熱処理方法。

【請求項 3】

前記安定化元素はクロム（Cr）であり、該 Cr は前記鉄炭化物全体を 100 質量％（以下単に「％」という。）としたときに 0.6～12％である請求項 2 に記載の鉄鋼材の浸炭熱処理方法。

【請求項 4】

前記鉄炭化物は、 M_3C 型（M：金属元素）である請求項 1～3 のいずれかに記載の鉄鋼材の浸炭熱処理方法。

20

【請求項 5】

前記浸炭源材は、前記鉄炭化物の粉末からなる鉄炭化物粉末であり、

前記接触工程は、該鉄炭化物粉末を前記鉄鋼材の表面に付着させる付着工程である請求項 1～4 のいずれかに記載の鉄鋼材の浸炭熱処理方法。

【請求項 6】

前記浸炭源材は、前記鉄炭化物をテープ状に成形した浸炭源箔であり、

前記接触工程は、該浸炭源箔を前記鉄鋼材の表面に貼付する貼付工程である請求項 1～4 のいずれかに記載の鉄鋼材の浸炭熱処理方法。

【請求項 7】

鉄鋼材の表面部から内部へ C を浸透させて該鉄鋼材の内部よりも該表面部に C 濃度の高い浸炭層を形成する鉄鋼材の浸炭熱処理に用いられる該 C の供給源となる浸炭源材であって、

30

該浸炭源材は、Fe と C の化合物である鉄炭化物からなることを特徴とする浸炭源材。

【請求項 8】

前記鉄炭化物は、鉄粉末と Cr 粉末と鉄合金粉末とを混合した混合粉末を加熱して得られる請求項 7 に記載の浸炭源材。

【請求項 9】

粉末状またはテープ状である請求項 7 または 8 に記載の浸炭源材。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

40

【0001】

本発明は、鉄鋼材の浸炭熱処理方法およびそれに用いる浸炭源材に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

各種の機械部品には、強度、剛性、コスト等の観点から鉄鋼材料が多用されている。鉄鋼材料を用いた場合、合金元素の種類やその含有量、熱処理条件などを適切に選択することで、所望する強度や延性などをもつ部材を得ることが容易である。

【0003】

もっとも、強度（硬さ）と延性等とは背反関係にあるため、一般的な焼入れ・焼戻し（調質処理）などの熱処理のみでは、各種特性が高次元でバランスした鉄鋼部材を得ること

50

は容易ではない。そこで、耐疲労性や耐摩耗性等の点で、大きな硬さが必要な表面部のみ硬くし、内部は比較的柔らかくして、強度と延性とが高次元でバランスさせ得る浸炭熱処理（表面硬化方法の一つ）がしばしば用いられる。

【0004】

浸炭熱処理は、肌焼鋼等のように比較的C含有量の少ない鉄鋼材料に対して、その表面から炭素（C）を浸透させ、表面部のC濃度を高くしてから焼入れを行う処理である。これにより、全体としては延性が保持されつつも、破壊や摩耗の起点となり易い表面部のみが強化された、いわゆる「外硬内柔」の金属組織が得られる。これにより、耐疲労性や耐摩耗性等と、耐衝撃性等との両方に優れた鉄鋼部材が得られる。

このような浸炭熱処理方法には、一般的に用いる浸炭源（浸炭剤）の相違により、固体浸炭法、ガス浸炭法、液体浸炭法がある。

【0005】

このうち現在多用されているのは、形成される浸炭層の制御が比較的容易なガス浸炭法である。このガス浸炭法は、一般的に、炭化水素系ガスを変性させたガス（RXガス）を浸炭源とし、雰囲気制御によりCO濃度と温度を調整してなされる。もっとも、ガス浸炭法は、COガスと鉄鋼材料表面との間の平衡（気-固平衡）に依存している。このため、0.6～1mm程度の厚さ（浸炭深さ）の浸炭層を形成するのに、800～900程度の浸炭ガス中で被処理材（鉄鋼部材）を2～4時間加熱することが必要となる。

【0006】

ところが最近、CO₂排出量の削減、省エネルギー化、プロセスの迅速化などの要請が一層強くなってきている。そこで従来のガス浸炭法に対して、環境負荷の低減、省エネルギー化、処理時間の短縮などを図れる真空浸炭法が用いられつつある。真空浸炭法は、真空炉に導入された微量の炭化水素系ガス（浸炭性ガス）が分解して生じる炭素（Gr）を鉄鋼材料の表面に付着させて浸炭する方法である。真空浸炭法によれば、Grと鉄（Fe）との間の平衡（固-固平衡）により浸炭が生じるため、浸炭能力（Cの浸透力）が高く、短時間の浸炭処理が可能となる。なお、真空浸炭法に関する開示は、例えば、下記の特許文献などにある。

【0007】

【特許文献1】特開2006-161119号公報

【特許文献2】特開2007-322036号公報

【特許文献3】特開2007-224357号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかし、真空浸炭法を行った場合、鉄鋼部材の表面部には炭素が過剰に浸透した部分（過剰浸炭部）が、鉄鋼部材の表面部の粒界に沿ってネットワーク状に形成される。この過剰浸炭部は炭化物からなり、このネットワーク状炭化物が鉄鋼部材の表面部を脆化させる。そこで真空浸炭法では、一旦浸炭処理をした後、別途、浸入したCをさらに内部へ拡散させる拡散工程を設けて、そのようなネットワーク状炭化物（過剰浸炭部）の解消を図っている。

【0009】

ところがこのために、浸炭工程自体が高々十数分程度で終了しても、その拡散工程に別途、数十分程度を要することになる。とすると結局、全体的に観れば、真空浸炭法を用いても、必ずしも処理時間が十分に短縮されているとはいえない。

【0010】

本発明は、このような事情に鑑みて為されたものであり、ネットワーク状炭化物等の形成されない浸炭層を、鉄鋼部材の表面部に短時間で形成できる浸炭熱処理方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

10

20

30

40

50

本発明者はこの課題を解決すべく鋭意研究し、試行錯誤を重ねた結果、FeとCの化合物である鉄炭化物を浸炭源に用いることで、過剰浸炭部（ネットワーク状炭化物など）を生じさせることなく、好ましい浸炭層を短時間で形成し得ることに成功した。そしてこの成果を発展させることで、本発明者は以降に述べる種々の発明を完成させるに至った。

【0012】

浸炭熱処理方法

(1) 本発明の浸炭熱処理方法は、鉄鋼材の表面部から内部へCを浸透させて該鉄鋼材の内部よりも該表面部にC濃度の高い浸炭層を形成する鉄鋼材の浸炭熱処理方法であって、FeとCの化合物である鉄炭化物よりなる浸炭源材を鉄鋼材の表面に接触させる接触工程と、該浸炭源材中の少なくともCが該鉄鋼材へ拡散する温度以上の浸炭温度まで該鉄鋼材を加熱する浸炭加熱工程と、該浸炭加熱工程後の鉄鋼材を冷却する冷却工程と、からなることを特徴とする。

10

【0013】

(2) 本発明の浸炭熱処理方法は、浸炭源として鉄炭化物を用いる点で画期的であり、従来のものとは全く異なる。この本発明の浸炭熱処理方法によれば、過剰浸炭部のない硬質かつ均質な浸炭層を、短時間で得ることが可能となる。しかも、単に鉄鋼材の表面部へのCの浸透時間が短いだけでなく、真空浸炭した場合等に必要となる拡散工程なども不要となり、浸炭熱処理全体を非常に短時間で終了させることが可能である。

【0014】

本発明の浸炭熱処理方法により、好ましい浸炭層が短時間で形成可能となったメカニズムは必ずしも定かではないが、現状、次のように考えられる。

20

先ず、従来の真空浸炭法の場合、鉄鋼材の表面に付着形成されたGrが浸炭源となる。ところが、Grは通常の被処理材（鉄鋼材）の高温相であるオーステナイト相（ γ ）と直接平衡できず、表面では γ 相とセメンタイト（ θ ）との三相平衡を保つと考えられる。従って、真空浸炭した場合、オーステナイト相中にセメンタイトが必ず生成し、鉄鋼材の表面部の平衡C濃度は4%以上の高濃度になる。この結果、前述したような過剰浸炭部が形成されることとなる。

【0015】

これに対して本発明の浸炭熱処理方法によれば、浸炭源に γ 相と直接平衡する鉄炭化物を用いているため、高温下にある鉄鋼材は、その表面部に接触している鉄炭化物と γ 相単独で平衡状態となる。このため、鉄鋼材の表面部におけるC濃度は、鉄炭化物の平衡固溶限（固溶限界濃度）である1~2%程度に保たれ、オーステナイト相内部にセメンタイトが生成することはない。

30

【0016】

こうして本発明の浸炭熱処理方法によれば、鉄炭化物から鉄鋼材の表面部へCが迅速に浸透されつつも、その鉄鋼材の表面部に過剰浸炭部等が形成されることもない。この結果、拡散工程を必要とせず、浸炭熱処理全体を非常に短時間で完了させることが可能となった。

【0017】

(3) ところで、本発明で用いる浸炭源である鉄炭化物の代表例は、 M_3C （M：金属元素）で表されるセメンタイトである。もっとも、Fe-C系の2元系セメンタイトは、準安定相であり、高温下ではFe（ γ 相）とGrに分解し得る。このため、 Fe_3C をそのまま用いると、例えば、浸炭温度を高くすることができず、迅速な処理が困難となる。そこで、迅速な浸炭熱処理を容易に行えるようにするために、高温域でもより安定な鉄炭化物を浸炭源として用いることが好適である。この点に関して本発明者は、既に、CrやMoなどの特有の元素を含有させることで、鉄炭化物は高温下でも安定となること、すなわち、容易には γ 相とGrに分解しないことを新たに見出している。

40

【0018】

従って、本発明の浸炭熱処理方法に係る浸炭源材である鉄炭化物は、少なくとも鉄鋼材の浸炭温度まで、その分解を抑制して安定化させる安定化元素を含むと好適である。

50

【 0 0 1 9 】

浸炭源材

上述したように、本発明は浸炭源に鉄炭化物を用いる点で画期的であり、従来の浸炭熱処理方法とは全く異なっている。そこで本発明は次のような浸炭源材としても把握できる。

【 0 0 2 0 】

すなわち本発明は、鉄鋼材の表面部から内部へCを浸透させて該鉄鋼材の内部よりも該表面部にC濃度の高い浸炭層を形成する鉄鋼材の浸炭熱処理に用いられる該Cの供給源となる浸炭源材であって、該浸炭源材は、FeとCの化合物である鉄炭化物からなることを特徴とする浸炭源材であってもよい。

10

【 0 0 2 1 】

その他

(1) 本明細書でいう「鉄鋼材」は、鉄鋼材料自体(素材)でも、最終製品に近い部材でもよい。通常、浸炭熱処理は製造の最終段階でなされることが多いが、浸炭熱処理後に表面に接触した鉄炭化物やスケール除去、ショット処理さらには機械加工等がなされてもよい。また、鉄鋼材の形態は問わない。

【 0 0 2 2 】

なお、一般的に鉄鋼は、C含有量が0.02~2.1質量%(以下単に「%」という。)程度のもをいうが、本発明の鉄鋼材は浸炭熱処理の被処理材(基材)となるものであればよい。つまり、鉄鋼材は、Feを主成分とするものであればよく、その中のC量は問わない。例えば、浸炭熱処理前の鉄鋼材中のC量が0%でもよいし、逆に、見かけのC量が2.1%を超える鑄鉄等であってもよい。

20

【 0 0 2 3 】

(2) 特に断らない限り、本明細書でいう「x~y」は、下限xおよび上限yを含む。また、本明細書に記載した下限および上限は任意に組合わせて「a~b」のような範囲を構成し得る。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 4 】

発明の実施形態を挙げて本発明をより詳しく説明する。なお、以下の実施形態を含め、本明細書で説明する内容は、本発明に係る鉄鋼材の浸炭熱処理方法のみならず、それに用いられる浸炭源材にも適用され得る。また、いずれの実施形態が最良であるか否かは、対象、要求性能等によって異なることを断っておく。

30

【 0 0 2 5 】

ところで、上述した本発明の構成に加えて、次に列挙する構成中から任意に選択した一つまたは二つ以上がさらに付加され得る。この際、発明のカテゴリーは問題ではない。例えば、浸炭源材に関する構成であれば、浸炭熱処理方法にも関連することはいうまでもない。さらに、「方法」に関する浸炭熱処理方法の発明も、プロダクトバイプロセスとして理解すれば、「物」(浸炭熱処理された鉄鋼部材)に関する発明ともなり得る。

【 0 0 2 6 】

(1) 鉄炭化物

鉄炭化物は、基本的にFeとCの化合物である。典型は前述したように M_3C 型のセメントタイトである。この鉄炭化物はFeとCのみからなる必要はない。鉄炭化物は、高温環境下でも、その M_3C 型のセメントタイト構造が維持されるものであると好ましい。特に、鉄鋼材が液化し始める温度(共晶温度)未満の範囲で、安定であると好ましい。このように安定な鉄炭化物を用いれば、従来の浸炭温度(800~900)よりも高温で浸炭熱処理を行うことができ、過剰浸炭部等のない好ましい浸炭層を迅速に形成することが可能となる。

40

【 0 0 2 7 】

具体的には、鉄炭化物に特定の元素を含有させることで、鉄炭化物は高温域でも安定となる。このような安定化元素として、Cr、Mo、W、V、Nbを用いることができる。

50

鉄炭化物は、それら安定化元素のうちの一つのみを含有するものでもよいし、二種以上を含有するものでもよい。安定化元素が過少では効果がなく、安定化元素が過多では、その元素特有の構造をもつ炭化物へ変化してしまうからであり、またコスト高となってしまう。

【0028】

このような観点から安定化元素の鉄炭化物中の含有量が定まる。もっとも、その好ましい範囲は、元素の種類によって異なる。例えば、鉄炭化物全体を100質量%（適宜単に「%」という。）としたときに、Crは0.6～12%であると好ましい。この上下限は、その数値範囲内で任意に選択され得るが、特に、0.8%、1%、3%、5%、8%、10%、11%から任意に選択した数値を上下限にすると好ましい。

10

【0029】

同様に、Moなら0.6～9%であると好ましい。この上下限は、その数値範囲内で任意に選択され得るが、特に、0.8%、1%、3%、5%、8%から任意に選択した数値を上下限にすると好ましい。

【0030】

(2) 鉄鋼材

鉄鋼材は、Feを主成分とするものであれば、その組成は問わない。もっとも鉄鋼材は、浸炭熱処理の被処理材であるから、通常は低炭素鋼であり、焼き入れ性を高める合金元素を比較的多く含む。具体的には、機械構造用合金鋼としてJISに規格されているSCr材、SCM材、SNCM材など、一般的に肌焼き鋼といわれるものが代表的である。ちなみにこのような鋼材の組成は、鋼材全体を100質量%とした場合、C:0.1～0.4%、Cr:0.9～1.2%、Mo:0.15～0.3%、Si:0.15～1.5%、Mn:0.5～2.7%である。

20

【0031】

本発明の浸炭熱処理を行うと、表面部のC濃度が高くなるのは当然として、表面部におけるC以外の元素濃度も、その内部よりも高くなり得る。浸炭源材に含まれていたC以外の元素（例えば、安定化元素）が多少なりとも鉄鋼材側へ拡散し得るからである。この結果、浸炭熱処理後の鉄鋼材の表面部の化学組成を調査すれば、本発明の浸炭熱処理方法を実施したか否かを判別できる場合もある。例えば、鉄炭化物中に安定化元素であるCrが含まれ、かつ、被処理材である鉄鋼材中にも焼き入れ性を高めるCrが含まれる場合、浸炭熱処理後のCr濃度が内部と表面部とで異なることがあり得る。但し、浸炭温度においてCr等の拡散係数はCの拡散係数よりもかなり小さく（約 10^4 分の1程度）、また、本発明の浸炭熱処理方法の場合、浸炭時間が相当短い。このため、鉄鋼材の内部と表面部との間にC以外の元素に関して極端な濃度差が生じることはなく、鉄鋼材の元々の特性を崩すような極端な濃度差も生じない。

30

【0032】

(3) 接触工程および浸炭源材

接触工程は、浸炭源材を鉄鋼材の表面に接触させる工程である。浸炭熱処理により形成される浸炭層は1mm前後と、僅かである。このため、浸炭源材自体も薄くて足る。

【0033】

これを踏まえて、浸炭源材の形態に応じた適切な接触工程を行えばよい。例えば、前記浸炭源材が鉄炭化物の粉末（鉄炭化物粉末）ならば、前記接触工程はこの鉄炭化物粉末を鉄鋼材の表面に付着させる付着工程とすればよい。

40

【0034】

また、この鉄炭化物粉末を溶媒に解いたスラリーを用いれば、そのスラリーを鉄鋼材の表面に塗布する塗布工程として容易に接触工程を行うことができる。この塗布工程は、刷毛塗り工程、スプレー工程、浸漬（ディップ）工程等のいずれでもよい。この際、スラリーを調製する際の溶媒は水その他、アルコール等の揮発性溶媒でもよい。その塗布回数は、鉄鋼材表面に均一な鉄炭化物粉末の層が形成されるなら、1回でも複数回でもよい。

なお、付着工程または塗布工程を行うに際して、鉄炭化物粉末の粒径は150μm以下

50

さらには45 μm以下であると、浸炭熱処理を迅速化する上で好ましい。

【0035】

もっとも、鉄炭化物粉末をそのまま用いると、浸炭熱処理の完了前に剥離、脱落等することも考えられる。そこで、鉄炭化物をテープ状に成形した浸炭源箔を浸炭源材として用いると、効率的で確実に接触工程を行える。この場合、接触工程は、例えば、浸炭源箔を鉄鋼材の表面に貼付する貼付工程となる。浸炭源箔自体には、通常、粘着性がないから、粘着性を付与するか、浸炭源箔を鉄鋼材の表面へ機械的に押圧等するとよい。

【0036】

浸炭源材は溶製でも焼成（焼結）材でもよい。もっとも、鉄粉末とGr粉末と鉄合金粉末とを混合した混合粉末を加熱して鉄炭化物を生成し、浸炭源材を製造すると、所望形状の浸炭源材を得やすい。

【0037】

（4）浸炭加熱工程

浸炭加熱工程は、浸炭源材を表面に接触させた鉄鋼材を、浸炭源材中の少なくともCが鉄鋼材へ拡散する温度以上の浸炭温度まで加熱する工程である。

本発明の場合、この浸炭加熱工程を行う雰囲気は問わないが、鉄鋼材の酸化や鉄炭化物の分解等を抑止するために、不活性ガス雰囲気で行うとよい。

【0038】

浸炭温度は、鉄鋼材がオーステナイト相に変態する温度（A1変態点）以上であって、鉄鋼材の共晶温度以下であればよい。もっとも、浸炭熱処理の迅速化を図る観点から、浸炭温度は、900以上、950以上、1000以上、1050以上、1100以上であると好ましい。一方、省エネルギー化等の観点から、鉄鋼材や鉄炭化物の安定度にも依るが、浸炭温度は1150以下、1100以下、1050以下とすると好ましい。なお、これらの浸炭温度の上下限は任意に組合せ可能である。

【0039】

ちなみに、本発明の方法を用いて浸炭温度：1100で浸炭熱処理を行った場合、4分で0.4mm、12分で0.9mm程度の深さまでCを拡散させることができた。

【0040】

（5）冷却工程

冷却工程は、浸炭加熱工程で加熱した鉄鋼材を冷却する工程である。この冷却は、炉冷等の徐冷であってもよいが、通常は、焼入れのための急冷である。急冷の程度は、鉄鋼材の表面部の金属組織が少なくとも一部がマルテンサイトに変態する限り、水冷でも湯冷でも油冷でもよい。また、冷却工程後に、別途、焼戻し等の熱処理を施して、鉄鋼材の機械的特性を調整してもよい。

【0041】

（6）本発明の浸炭熱処理方法が施される鉄鋼材（鉄鋼部材）の一例を挙げると、各種プーリー、変速機のシンクロハブ、エンジンのコンロッド、ハブスリーブ、スプロケット、各種歯車（リングギヤ、パーキングギヤ、ピニオンギヤ等）などがある。

【実施例】

【0042】

実施例を挙げて本発明をより具体的に説明する。

浸炭源材の製造

（1）浸炭源材を製造するための原料粉末として、カーボニル鉄粉（福田金属製、平均粒径5 μm）と、グラファイト粉末（Gr粉末）、SUS430（JIS）の微粉末（神戸製鋼製、-45 μm）を用意した。なお、SUS430微粉末はCr添加用である。これら各種粉末は、全体組成（原子%）が次のようになるように配合した。

Fe：70.98%、C：25.00%、Cr：4.01%

これを質量%に換算すると次のようになる。

Fe：88.62%、C：6.714%、Cr：4.66%

この組成は、Fe-C2元系セメンタイト（Fe₃C）中のFe全体を100質量%と

10

20

30

40

50

したときの、その約 5 質量 % 分を Fe から Cr へ置換したものである。

【0043】

この Fe 3 C に替わる (Fe 5 % Cr) 3 C と、純 Fe との間の平衡状態図を、TCFE 3 (サーモカルク社製) データベースを用いて算出した結果を図 1 に示す。この計算状態図から、(Fe 5 % Cr) 3 C からなる鉄炭化物 (Cr 添加セメンタイト) は、Fe の A 1 変態温度から共晶温度まで、オーステナイト相と安定に共存し得ることが分る。

【0044】

(2) 上記の各種粉末を配合した配合粉末をボールミルに入れて、室温下の Ar ガス雰囲気中で約 10 時間混合した。このとき使用した $\phi 8$ mm の鋼球と配合粉末との質量比は、10 : 1 とした。

【0045】

こうして得られた混合粉末へ水系バインダ (ユケン工業社製、DB 20) を適量加え、混合粉末をドクターブレード法により厚さ約 0.75 mm テープ状に成形した。この成形体を Ar ガス雰囲気炉で 1100 $\times$ 30 分間加熱して、Cr 添加セメンタイトからなる浸炭源箔 (以下、「Cr - θ 箔」という。) を得た。

なお、東洋カーボン社製の厚さ 0.2 mm の Gr シートを比較用の浸炭源材として用意した。

【0046】

浸炭熱処理

(1) 浸炭熱処理の被処理材として、肌焼鋼 (JIS : SCM 420H) からなる $\phi 12$ mm の円柱状の試験片 (鉄鋼材) を用意した。雰囲気中熱間加工試験装置を用いて、試験片の外表面に前述載せた浸炭源箔へ一定荷重 (49 MPa) を印加しつつ、Cr - θ 箔を挟持した (接触工程)。

【0047】

この状態の試験片を高周波誘導加熱した (浸炭加熱工程)。このときの加熱温度 (浸炭温度) は 950 または 1100 とし、加熱時間は 4 分間または 12 分間とした。

この高周波誘導加熱直後の試験片を Ar ガスで急冷した (冷却工程)。この冷却時間は 3 分間であった。

初期の昇温速度を 20 / s としたから、この浸炭熱処理に要した時間は合計で約 8 分間または約 16 分間であった。

(2) 上記浸炭熱処理で用いた Cr - θ 箔を、比較用の Gr シートに替えて、同様の工程で比較用の試験片を製造した。

【0048】

測定

(1) 先ず、上記の Cr - θ 箔自体を X 線解析した。この X 線回折結果 (XRD) を図 2 A に示す。また、その浸炭源箔を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した顕微鏡写真を図 2 B に示す。

【0049】

(2) Cr - θ 箔を用いて浸炭熱処理 (1100 $\times$ 4 分間) した試験片の表層断面の金属組織を図 3 A および図面 3 B に、Gr シートを用いて浸炭熱処理 (1100 $\times$ 4 分間) した試験片の表層断面の金属組織を図 4 A ~ 図 4 C にそれぞれ示した。なお、図 3 B および図 4 C は、浸炭のなされていない内部組織がベイナイトであり、いずれも同等の冷却がなされたことを確認したものである。

【0050】

ちなみに、各金属組織は、光学顕微鏡を用いて観察したものである。そして図 3 A、図 3 B、図 4 A および図 4 B の顕微鏡写真は、レペラー試薬で腐食させた試験片断面を観察したものであり、図 4 C の顕微鏡写真は、ピクリン酸 - 水酸化ナトリウム系試薬で炭化物を優先的に腐食させた試験片断面を観察したものである。

【0051】

(3) Cr - θ 箔を用いて浸炭熱処理した各種試験片と Gr シートを用いて浸炭熱処理し

10

20

30

40

50

た各種試験片について、試験片の浸炭表面からの深さ（浸炭深さ）方向に、順次、ビッカース硬さ（荷重 50 g）を測定した。こうして得られた各種試験片の硬さ分布（ビッカース硬さと浸炭深さの相関）を図 5 および図 6 にそれぞれ示した。

【0052】

評価

（１）先ず図 1 の状態図から、上記の Cr - θ 箔は 1160 ぐらいまで安定で、しかも被処理材の γ 相と熱力学的に平衡することがわかる。また、図 2 A の X 線回折図からわかるように、加熱前の成形体では、原料粉末の α - Fe と Gr のみが検出されたのに対して、加熱後の成形体は、ほぼセメントイト（（Fe 5 % Cr）3 C）単相であることが確認された。但し、この場合でも、α - Fe と Gr がわずかながら残存しており、その割合は全体の 95 % 程度と推定される。

10

【0053】

また、図 2 B に示した顕微鏡写真から、浸炭源箔が多孔質状となっていることがわかった。気孔は、原料粉末からセメントイトが合成される際に伴う発熱反応により、生じたものと思われる。

【0054】

（２）図 3 A および図 3 B からわかるように、Cr - θ 箔を用いて浸炭熱処理した試験片の表層部分には、残存した Cr - θ 箔層の直下から、極めて微細なラス状マルテンサイトが形成されている。そして、それよりも深くなるにつれて、ベイナイトと思われる黑色相を含んだ混合組織が形成されている。これら以外の金属組織として現状明らかではないが、残留オーステナイト相の存在も考えられる。

20

【0055】

一方、図 4 A および図 4 B からわかるように、Gr シートを用いて浸炭熱処理した試験片の表層部分には、残存した Gr シート層の直下に、先ず、高炭素領域の金属組織が存在している。この高炭素領域の金属組織は、特有の針状マルテンサイトと残留オーステナイト相からなる。しかも、図 4 C に示した顕微鏡写真から分かるように、オーステナイト相の粒界（γ 粒界）に沿ってネットワーク状の炭化物が析出していることも分かった。これよりもさらに深い部分の金属組織は、上記の Cr - θ 箔を用いて浸炭熱処理した試験片の金属組織と類似していた。

【0056】

30

（３）図 5 からわかるように、Cr - θ 箔を用いて浸炭熱処理した試験片の場合、浸炭温度が高い程、また、浸炭時間が長い程、内部での硬さが大きなものとなった。浸炭温度や浸炭時間が異なるいずれの場合も、全体的な硬さ分布は、内部に向かって硬さが単調に減少する傾向であった。しかも、最表層部分のビッカース硬さは、いずれの場合も、850 ~ 1000 Hv 程度で安定していた。

【0057】

このように、浸炭温度または浸炭時間を適宜変更した場合でも、安定した硬さをもつ浸炭層が形成されることが確認された。逆にいえば、所望する厚さの浸炭層は、浸炭温度または浸炭時間を変更することで容易に得られ、本発明に係る浸炭熱処理方法は制御性に優れることもわかった。しかもこの場合、試験片の表面部近傍には、炭化物がほとんど見られず、炭化水素系ガスによる真空浸炭をした場合に必要となる拡散工程なども不要であり、短時間内に浸炭熱処理を完了させることができる。

40

【0058】

一方図 6 からわかるように、Gr シートを用いて浸炭熱処理した試験片の場合、浸炭時間の長短にかかわらず、表層部分の硬さ分布が不安定であった。また、いずれの場合も、硬さが内部に向かって一旦増加した後に急減する傾向を示した。

【0059】

Gr シートでの浸炭では、表層の硬さが Hv 700 ~ 900 と大きく変動し、やや内部で最高硬さとなり、その後、急激に低下している。X 線マイクロアナライザ（EPMA）の分析によると、4 分間、12 分間での最高硬さの位置はいずれも C 濃度が 0.8 ~ 0.9

50

9 %で一致していた。従って、表面のより高濃度のC濃度となった浸炭領域は、硬さの上昇には結びついていない(過剰浸炭)。この理由として、硬さの変動する範囲は図4(a)の針状マルテンサイト組織に対応しており、ここに残留 γ 相が多いためと推定される。ちなみに、Cr- θ 箔を用いて浸炭熱処理をした試験片の場合は、C濃度が1%を越える表層部分でも、硬さの低下は僅かであった。

【0060】

(4)以上の結果を基に、本発明に係る一実施例であるCr- θ 箔を用いて浸炭熱処理した場合、Grシートを用いて浸炭熱処理した場合、炭化水素系ガス(メタンなど)を用いて真空浸炭熱処理した場合および一般的なRXガスを用いて浸炭熱処理した場合のそれぞれについて、炭素拡散深さ、粒界炭化物の有無を調べた結果を表1にまとめた。なお、浸炭深さについては、適宜、シミュレーション値を示した。

10

【0061】

この表1からもわかるように、Cr- θ 箔を用いて浸炭熱処理した場合、他の方法で浸炭した場合と異なり、粒界炭化物(ネットワーク状炭化物)は観られなかった。また、浸炭深さも従来の浸炭方法と同等以上であった。

【0062】

【表 1】

浸炭源	浸炭温度 (°C)	浸炭時間 (分)	浸炭深さ (Cの拡散深さ) (mm)	粒界炭化物 の有無
Cr含有セメント (Cr-θ箔)	950	4	(0.21)	無し
	950	12	(0.32)	
	1100	4	0.45	
	1100	12	0.7	
固体黒鉛 (Grシート)	1100	4	0.55	有り
	1100	12	1.0	
炭化水素系ガス 真空浸炭	950	4	0.2	有り
	950	12	0.6	
RXガス	850	120	(0.63)	有り
	950	4	(0.24)	
	950	12	(0.41)	

「Cの拡散深さ」欄中、() 書きは有限差分法によるシミュレーション値を示す。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】Fe-(Fe5%Cr)3C系状態図である。

【図2A】本実施例で用いた浸炭源材であるCr-θ箔のX線回折図(XRD)である。

【図2B】そのCr-θ箔を観察したSEM写真である。

【図3A】Cr-θ箔を用いて浸炭熱処理した試験片の表層断面の金属組織写真である。

【図3B】Cr-θ箔を用いて浸炭熱処理した試験片の内部の金属組織写真である。

【図4A】Grシートを用いて浸炭熱処理した試験片の表層断面の金属組織写真である。

【図4B】Grシートを用いて浸炭熱処理した試験片の内部の金属組織写真である。

【図4C】Grシートを用いて浸炭熱処理した試験片の表層断面の金属組織写真である。

【図5】Cr-θ箔を用いて浸炭熱処理した試験片の表層断面の硬さ分布図である。

【図6】Grシートを用いて浸炭熱処理した試験片の表層断面の硬さ分布図である。

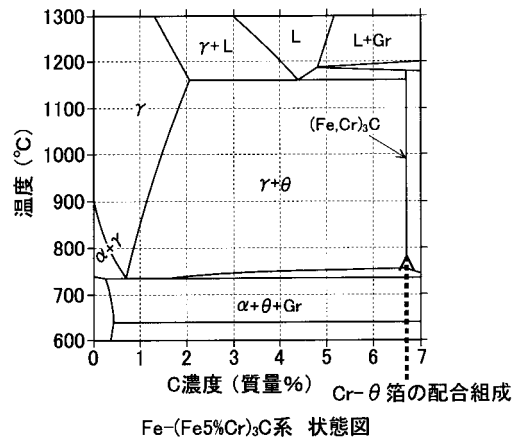
10

20

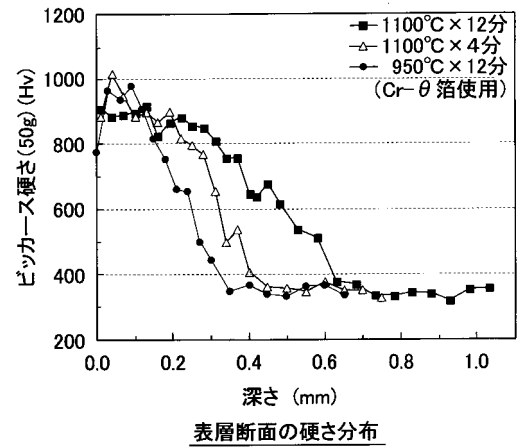
30

40

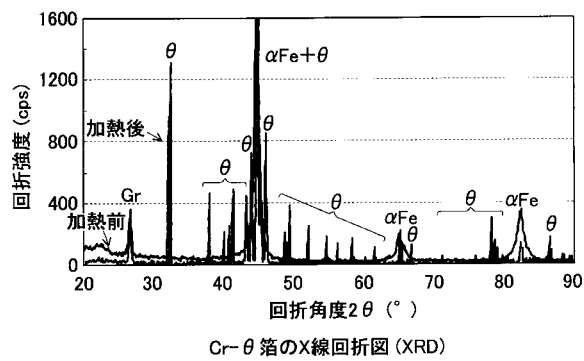
【図 1】



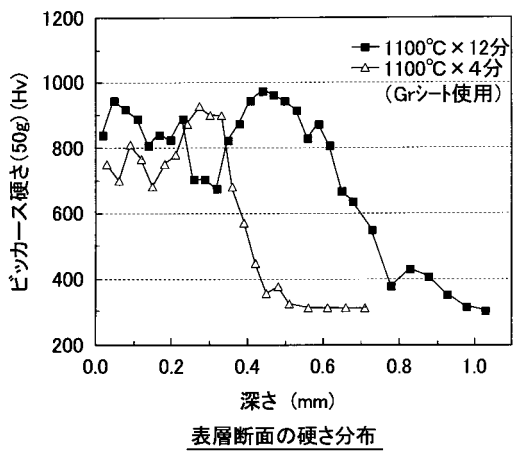
【図 5】



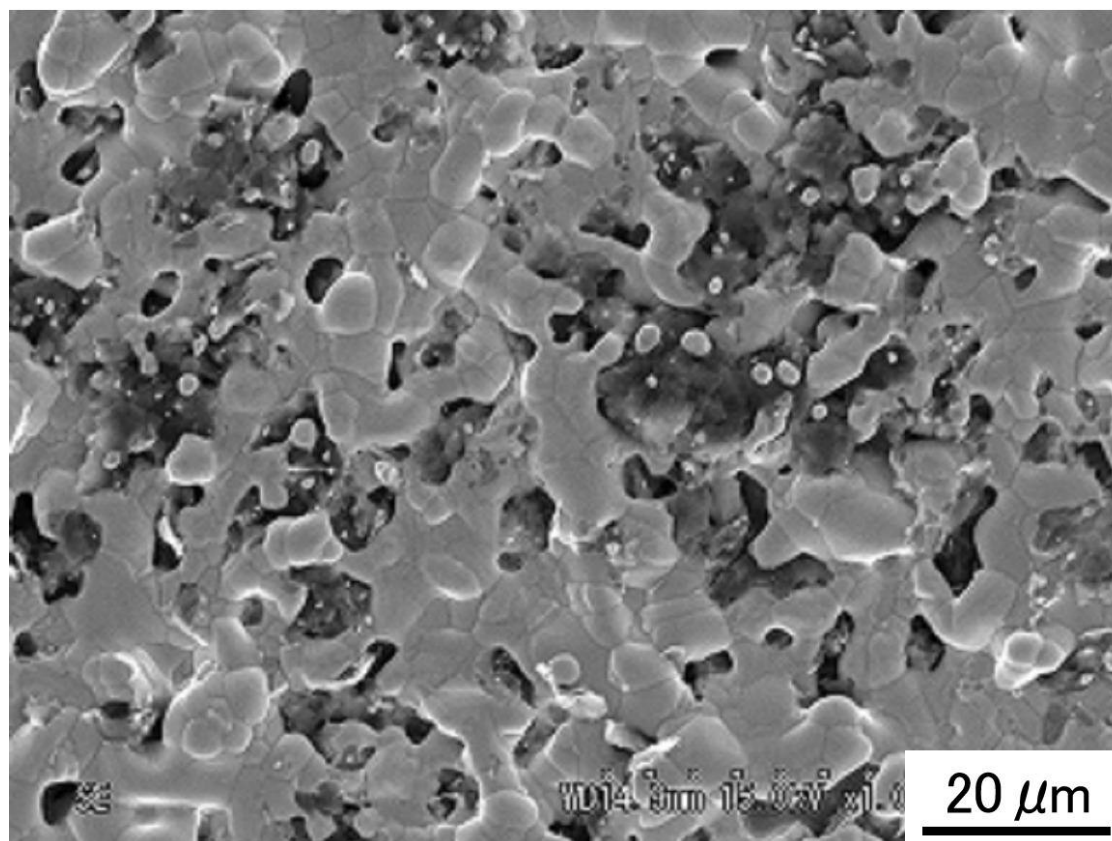
【図 2 A】



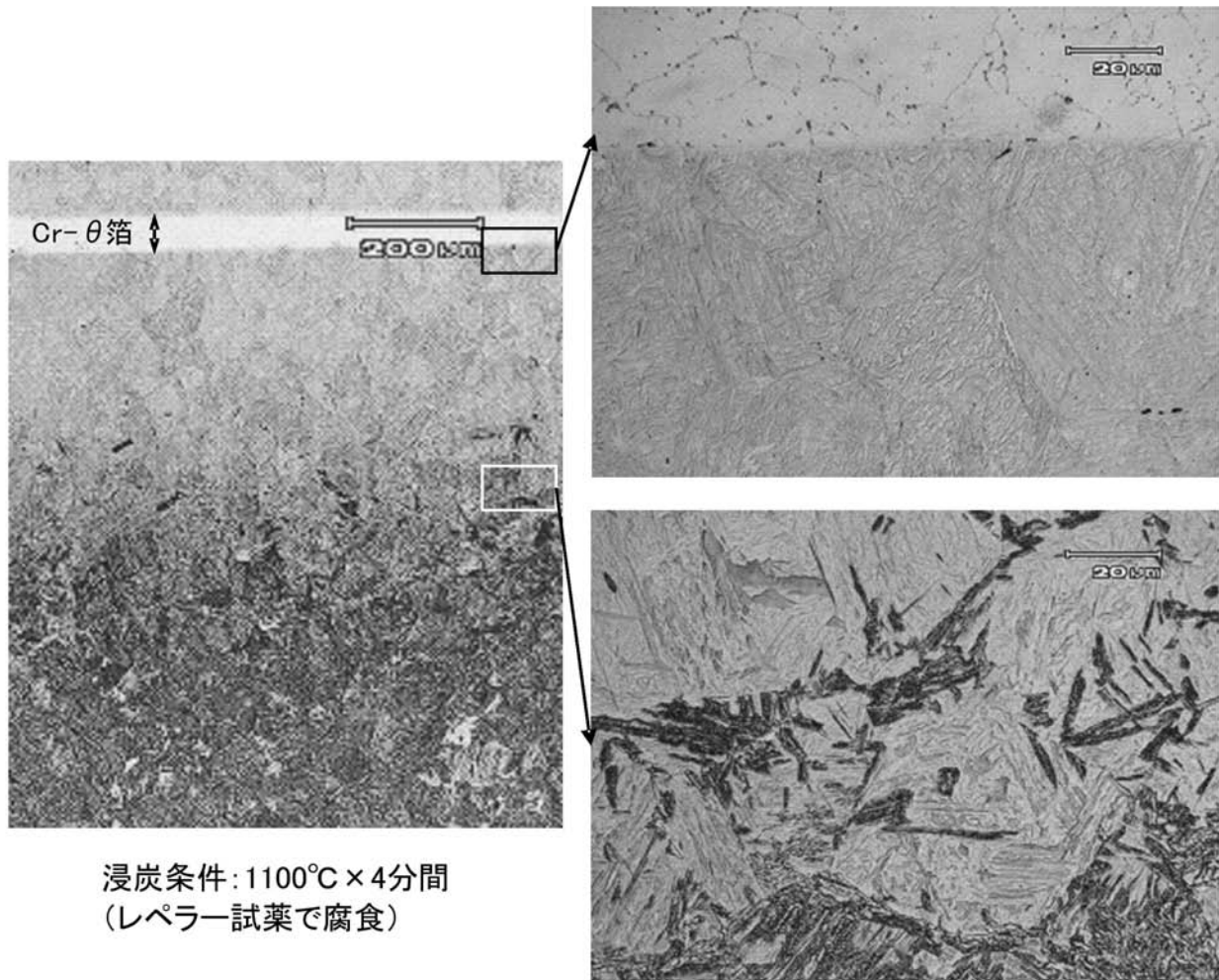
【図 6】



【図 2 B】

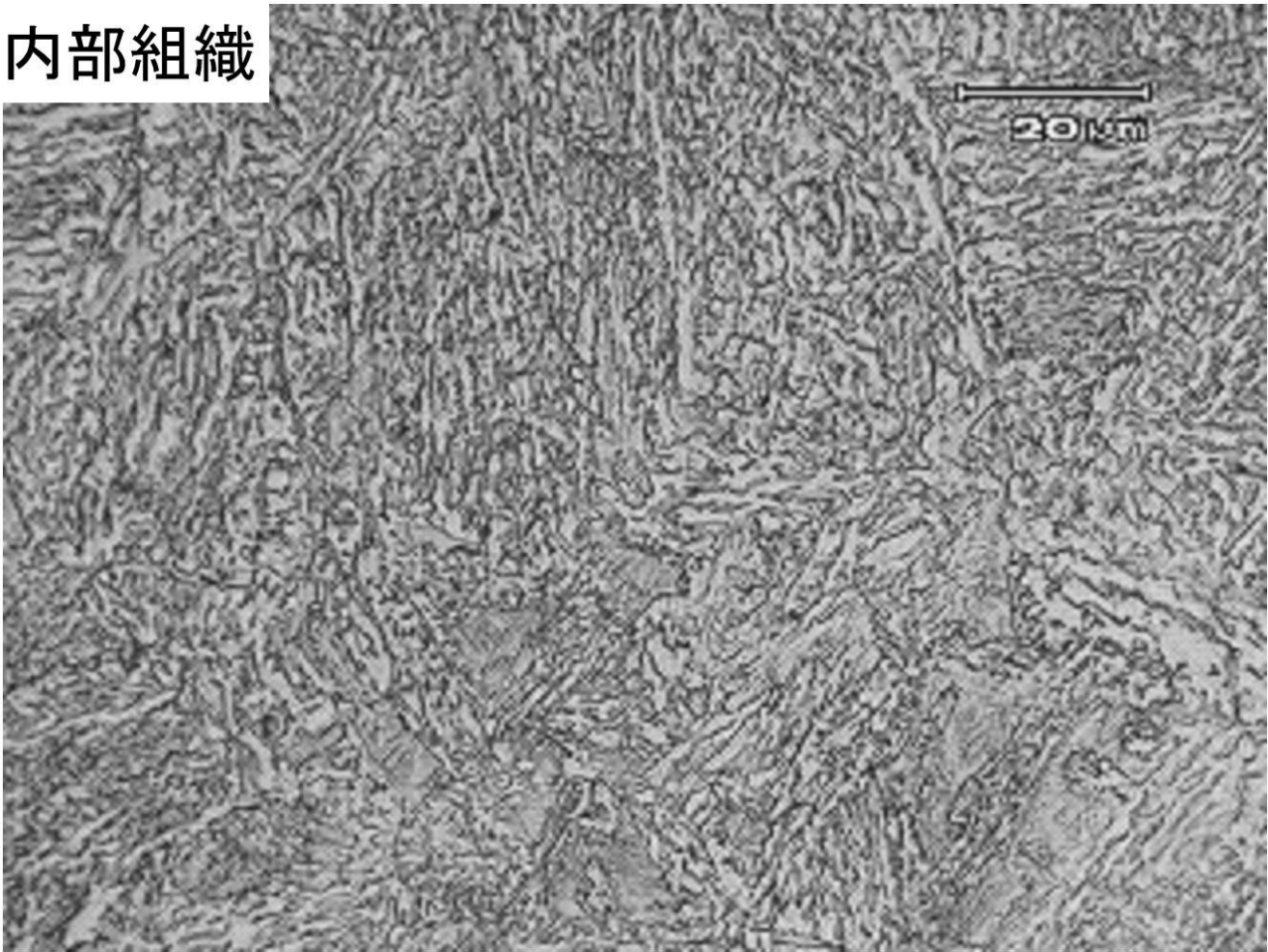


【図 3 A】

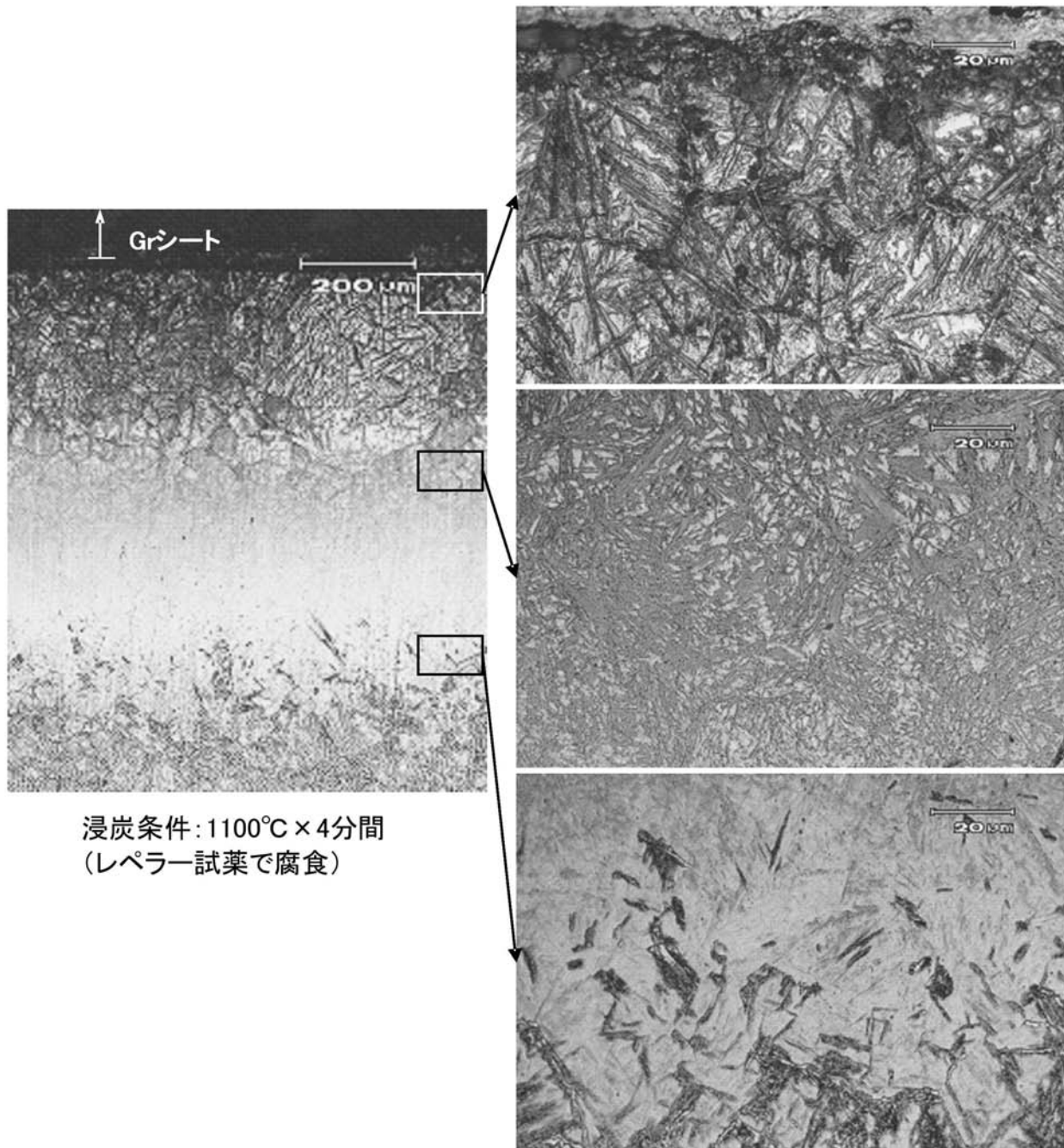


【図 3 B】

内部組織

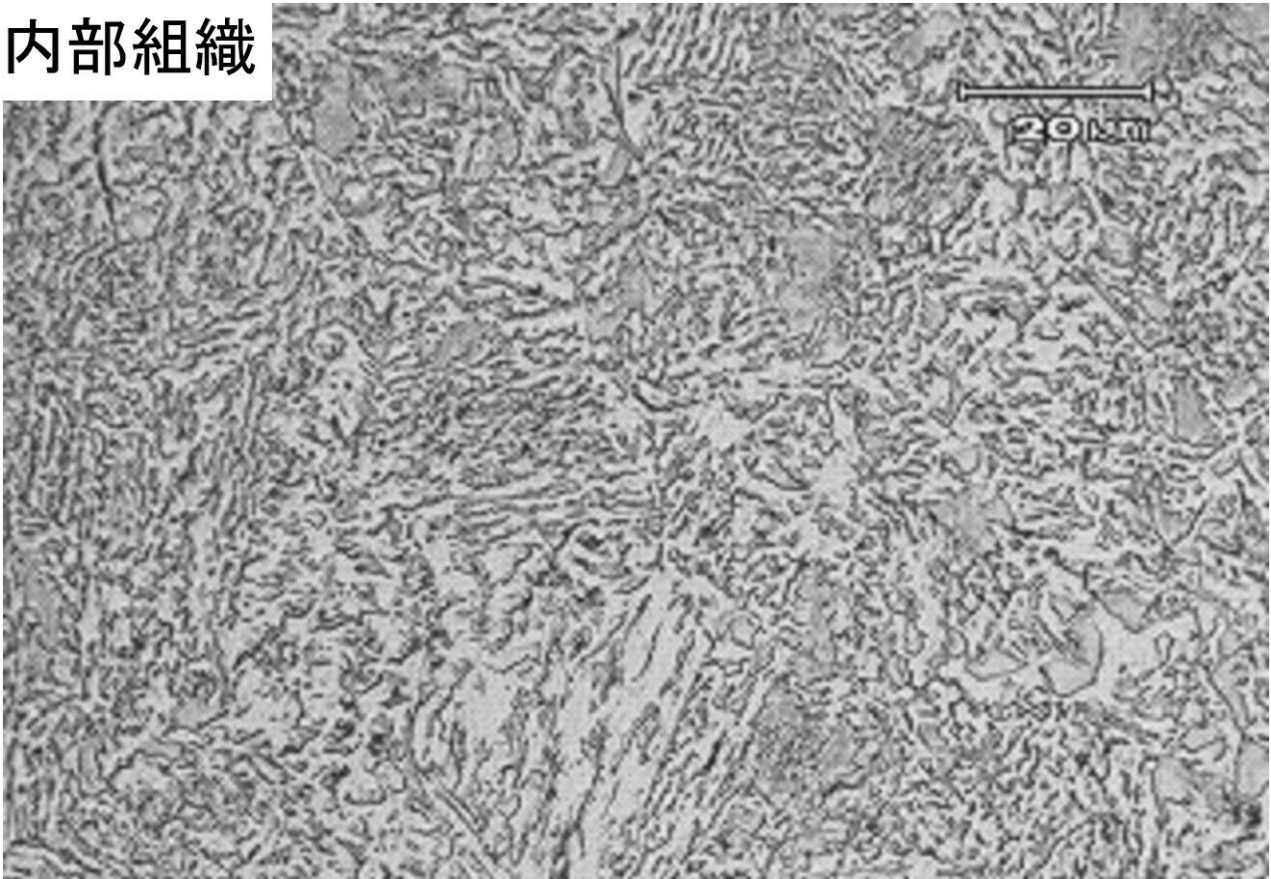


【図 4 A】

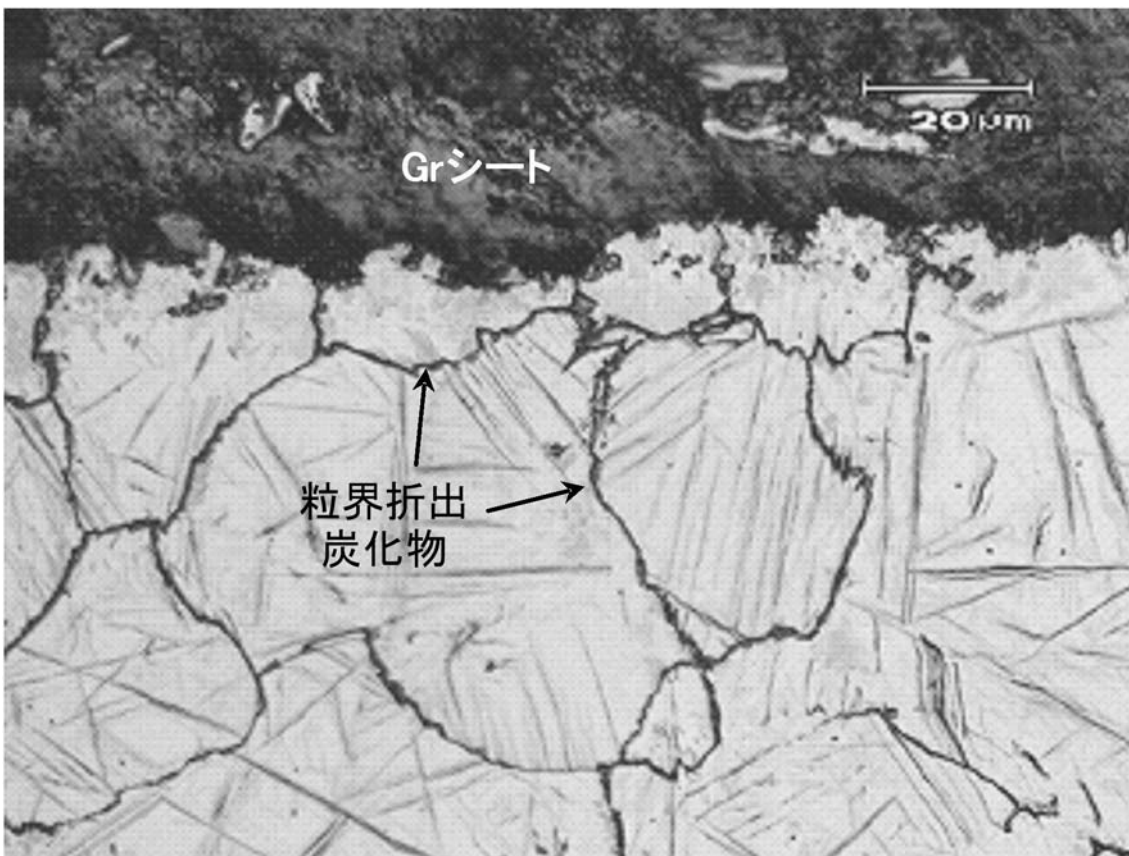


【図 4 B】

内部組織



【図 4 C】



(ピクリン酸 - 水酸化ナトリウム系腐食液使用)