世界知的所有権機関
国際事務局

PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類 5 C23C 8/22	A1	(11) 国際公開番号 (43) 国際公開日	WO 94/09175 1994年4月28日 (28.04.1994)

(21) 国際出願番号 PCT/JP93/01486
(22) 国際出願日 1993年10月15日(15. 10. 93)

(30) 優先権データ

特願平4/277305	1992年10月15日(15. 10. 92)	JP
特願平4/287523	1992年10月26日(26. 10. 92)	JP
特願平4/287524	1992年10月26日(26. 10. 92)	JP
特願平4/344472	1992年12月24日(24. 12. 92)	JP

(71) 出願人(米国を除くすべての指定国について)
川崎製鉄株式会社
(KAWASAKI STEEL CORPORATION)〔JP/JP〕
〒651 兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号 Hyogo, (JP)
(72) 発明者;および
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ)
中川二彦(NAKAGAWA, Tsuguhiko)〔JP/JP〕
蔵本浩史(KURAMOTO, Koushi)〔JP/JP〕
花園宣昭(HANAZONO, Nobuaki)〔JP/JP〕
諸住 順(MOROZUMI, Jun)〔JP/JP〕
〒712 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目 川崎製鉄株式会社 水島製鉄所内
Okayama, (JP)
佐藤 進(SATOH, Susumu)〔JP/JP〕
岡田 進(OKADA, Susumu)〔JP/JP〕
〒260 千葉県千葉市中央区川崎町1番地
川崎製鉄株式会社 技術研究本部内 Chiba, (JP)

(74) 代理人
弁理士 森 哲也, 外(MORI, Tetsuya et al.)
〒101東京都千代田区神田鍛冶町三丁目7番地
村木ビル8階 Tokyo. (JP)

(81) 指定国
CA, JP, KR, US, 欧州特許(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

添付公開書類 国際調査報告書

(54) Title : METHOD OF CONTINUOUSLY CARBURIZING METAL STRIP

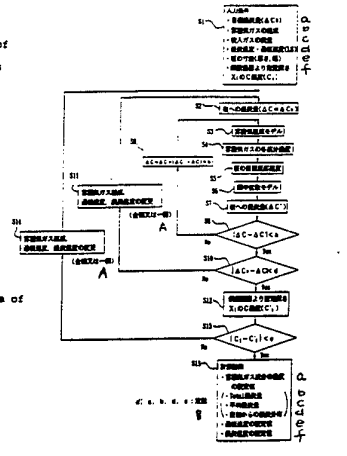
(54) 発明の名称 金属帯の連続浸炭方法

(57) Abstract

This invention aims at providing a method of continuously carburizing a metal strip, which is capable of providing industrially optimum carburization conditions while attaining non-soot-generating atmospheric data, desired carburization concentration distribution and desired carburization rate, in a case where a strip passed through a carburization furnace is carburized continuously in a surface reaction rate-determining region in which the carbon concentration in a superficial layer of the strip has not yet reached an equilibrium level with respect to the time. The method consist of carburization concentration distribution (S7), on the basis of the carburization conditions including given specification data for the steel plate, furnace temperature and composition of the atmospheric gas, outputting the concentration of the components of the atmospheric gas, feed and discharge rates and other carburization conditions when the set carburization rate and an actual carburization rate are equal (S8-S15), and correcting the set carburization rate when a difference between the set carburization rate and an actual carburization rate is large, and correcting the strip feed rate while correcting the composition of the atmospheric gas when a difference between the predetermined carburization rate and set carburization rate is large (S9).

S1 ... Input conditions:
a ... Target carburization rate (aC_s)
b ... Composition of atmospheric gas
c ... Flow rate of charging gas
d ... Carburization temperature and strip feed rate (LS)
e ... Sizes of strip (thickness and width)
f ... Concentration (C_i) of C at the portion of steel strip which has a designated depth X_i measured from the surface of the steel strip

S2 ... Steel strip carburization rate ($aC=aC_s$)
S3 ... Model of composition of atmospheric gas
S4 ... Concentration of each component of atmospheric gas
S5 ... Surface reaction speed of strip
S6 ... Model of diffusion of carbon into steel
S7 ... Strip carbonizing rate (aC')
S11 ... Alteration of composition of atmospheric gas, strip feed rate and carburization temperature
S12 ... Concentration (C'_i) of C at the portion of steel strip which has a designated depth X_i measured from the surface of the steel strip
S14 ... Alteration of composition of atmospheric gas, strip feed rate and carburization temperature
S15 ... Results of calculation:
a ... Set values of concentration of components of atmospheric gas
b ... Total carburization rate
c ... Average carburization rate
d ... Carburization concentration distribution from the surface of steel strip
e ... Set value of strip feed rate
f ... Set value of carburization temperature
A ... (wholly or in part)
B ... constants



(57) 要約

ストリップ表層部の炭素濃度が時間に対して平衡濃度に達する以前の表面反応律速域で、浸炭炉内に通板されるストリップを連続的に浸炭する場合に、スーティングが発生しない雰囲気諸元、所望する浸炭濃度分布、所望する浸炭量を達成しながら、工業的に最適な浸炭条件を得ることのできる金属帯の連続浸炭方法を提供することを目的とする。

その構成は、与えられた鋼板仕様諸元や炉内温度、雰囲気ガス組成等の浸炭条件から、浸炭量を算出し（Ｓ７）、設定浸炭量と浸炭量とが等しければ雰囲気ガス成分の濃度，供給・排出流量及びその他の浸炭条件を出力し（Ｓ８～Ｓ１５）、設定浸炭量と浸炭量との差が大きい場合には設定浸炭量を補正し、所定浸炭量と設定浸炭量との差が大きい場合には雰囲気ガス組成を補正しながら通板速度を補正する（Ｓ９）ものである。

情報としての用途のみ
PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第1頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AT オーストリア
AU オーストラリア
BB バルバードス
BE ベルギー
BF ブルキナ・ファソ
BG ブルガリア
BJ ベナン
BR ブラジル
BY ベラルーシ
CA カナダ
CF 中央アフリカ共和国
CG コンゴー
CH スイス
CI コート・ジボアール
CM カメルーン
CN 中国
CS チェッコスロヴァキア
CZ チェッコ共和国
DE ドイツ
DK デンマーク
ES スペイン
FI フィンランド
FR フランス
GA ガボン
GB イギリス
GN ギニア
GR ギリシャ
HU ハンガリー
IE アイルランド
IT イタリー
JP 日本
KP 朝鮮民主主義人民共和国
KR 大韓民国
KZ カザフスタン
LI リヒテンシュタイン
LK スリランカ
LU ルクセンブルグ
LV ラトヴィア
MC モナコ
MG マダガスカル
ML マリ
MN モンゴル
MR モーリタニア
MW マラウイ
NE ニジェール
NL オランダ
NO ノルウェー
NZ ニュー・ジーランド
PL ポーランド
PT ポルトガル
RO ルーマニア
RU ロシア連邦
SD スーダン
SE スウェーデン
SI スロヴェニア
SK スロヴァキア共和国
SN セネガル
TD チャード
TG トーゴ
UA ウクライナ
US 米国
UZ ウズベキスタン共和国
VN ヴェトナム

明細書

金属帯の連続浸炭方法

技術分野

本発明は、金属帯を連続ガス浸炭する場合の連続浸炭方法に関するものであり、例えば極低炭素鋼からなるストリップを焼鈍炉内から浸炭炉内に通板して連続的にガス浸炭する場合に、当該ストリップ表層部の炭素濃度がストリップと雰囲気ガスとの間における平衡濃度に達する以前の表面反応律速域で、浸炭処理以外の操業条件によって設定された通板速度で通板されるストリップを所望する浸炭量で浸炭することを目的としたり、所望する鋼中浸炭濃度分布を得ることを目的としたりするために、スーティングが発生しない雰囲気諸元としての雰囲気ガス組成，組成ガス濃度，炉内温度，金属帯温度，通板速度等を制御するのに適するものである。

背景技術

例えば自動車産業のような金属二次加工産業界では、加工対象金属板に対してより高い加工性と強度との両立が要求されている。具体的に前記自動車産業界では、昨今問題化されている地球環境問題から低燃費化を追求するために車体を軽量化する必要から、従来の深絞り性を維持した上でより強度の高い鋼板が要求される。

このような金属板の評価指標としては、例えば延性，深絞り性，時効性，強度，二次加工脆性，焼付硬化性，スポット溶接性等が考えられる。そこで、前記の深絞り性を特に重要視して、この深絞り性をランクフォード値（以下ｒ値：金属板幅歪み／板厚歪み）で評価した場合、鋼中の炭素（以下Ｃと記す）量を低減することが最も有利であることは公知であり、加えてこの低炭素化により延性（Elongation：Ｅ１）や常温遅時効性（Aging Index ：ＡＩが低い程良い）も向上する。ところが、一方で鋼中のＣ量が低下するに従ってその他の評価指標は大方について劣化する。例えば、析出物が減少して組織強度が低下するために引張強度（Tensile Strength：ＴＳ）が低下し、粒界強度が低下するために二次加工脆性が劣

化し、固溶Ｃ量が低下するために焼付硬化性が劣化する。また、鋼中Ｃ量５０ｐｐｍ以下では、溶接による加熱で粒成長速度が促進されて熱影響部（Heat Affected Zone：ＨＡＺ）の粗粒化によってスポット溶接性が劣化する。

そこで、第１図に示すように極低炭素鋼からなる金属帯を連続焼鈍処理によって再結晶焼鈍することにより前記延性，深絞り性，常温遅時効性を得ながら、これに続いて、連続浸炭処理によって表層部に固溶Ｃを存在させることにより前記引張強度，二次加工脆性，ＢＨ性，スポット溶接性を向上するために、本出願人は第２図に示すような特開平４－８８１２６号公報に記載される連続焼鈍浸炭設備を開発した。

この連続焼鈍浸炭設備によれば、予熱帯１から加熱帯２又は均熱帯３で金属帯（ストリップＡ）に対して所定の再結晶焼鈍を行った後、浸炭帯４内の金属帯温度，雰囲気諸元，搬送速度（在炉時間）及び冷却条件を制御して浸炭処理を行うことにより、金属帯の材質仕様を満足させながら表層浸炭深さと濃度分布を所望の値（形態）とした金属帯を連続的に製造することを可能とする。

一方で、このような金属帯表層部の浸炭深さと浸炭濃度の分布形態を制御する方法として特公昭５４－３１９７６号公報に記載されるものがある。この浸炭深さ及び浸炭濃度の制御方法は、浸炭期には浸炭ガスを所定の流量で噴出導入して金属帯表層部に炭素を浸透させ、この浸炭期に続く拡散期には浸炭ガスを排気した十分な減圧下で、金属帯表層部に浸透した炭素を拡散させ、これらの浸炭期と拡散期の時間を制御することによって浸炭深さと浸炭濃度とからなる浸炭濃度分布形態をコントロールするようにしたものである。この浸炭深さ及び浸炭濃度の制御方法によれば、特に薄い浸炭層（浸炭肌）を必要とするガスジェット浸炭で発生し易い、不均一浸炭を防止することが可能である。

ところで、このような連続焼鈍浸炭設備の諸条件を設定する実際にあたり、以下に述べる問題が判明した。

（１）浸炭速度については葉らの報告（葉　煦雲，春山　志郎ら：日本金属学会誌49(1985)7,529 ）によって、第３図に示すように金属表層部のＣ量がある程度高く且つ浸炭時間が長い場合、浸炭の速度は表層部のＣ濃度が、当該ストリップと雰囲気ガスとの間の平衡濃度に達した後、Ｃが金属組織内に拡散していく速度

に比例するため、通常、時間の平方根に比例することになり、この時間浸炭利得域を拡散律速域と称するが、一方、前記のように金属表層部のＣ量が極めて低く且つ浸炭時間が極めて短い場合は、該表層部のＣ濃度が平衡濃度に達しないため、浸炭の速度は金属表層部と炭素とが直接的に反応する速度に比例することになり、この時間浸炭利得域を表面反応律速域と称することが知られている。

そこで、例えば前記の耐二次加工脆性の向上を対象とする金属に要求される仕様から（特開平３－１９９３４４号公報など）当該金属帯の浸炭条件を求めると、浸炭濃度も浸炭深さも極めて小さいため、この場合には表面反応律速域での浸炭処理を行う必要があり、金属帯表層部が雰囲気ガスの持つ浸炭力と常に平衡状態にあると考える、所謂従来のＣＯ／CO_2 等の管理によるカーボンポテンシャル（Ｃポテンシャル）制御では、金属帯への浸炭量を制御できないことが判明した。

（２）また一般に、浸炭条件における雰囲気ガス組成は化学平衡により求めることができるが、従来の解法では考え得る気相系の反応を全て列挙し、これら個々の反応の平衡関係から、非線形の連立方程式を解くことによってガスの組成を得ていた。しかし、気相系の反応式からは正確なすす発生（スーティング）の限界を求めることが極めて困難である。

（３）更に、前述した表面反応速度については先の葉らの報告があるが、この報告ではＣＯガスのみにおける浸炭速度について論じられているだけで、これをそのまま、複雑な組成からなる連続浸炭操業の実際に展開することはできない。

ところで前記第２図のような連続焼鈍浸炭設備では加熱帯２及び／又は均熱帯３で金属帯に対して所定の焼鈍処理を行い，浸炭帯４で所定の浸炭処理を行い、各冷却帯５，６で所定の冷却処理を行う必要があるから、夫々の熱処理帯では例えば炉温を制御するなどにより所定の金属帯の温度（以下、板温とも記す）制御を行う必要がある。これらの各熱処理帯を構成する各炉では主として伝熱によって板温制御を行っているが、同時に各炉の能力計算によって炉内温度（以下、炉温とも記す）自体の上下限値も存在する。例えば、加熱帯の加熱炉や均熱帯の均熱炉では、炉の能力から炉温の上限値が設定され、ラジアントチューブ，炉壁，ハースロール等の間の伝熱係数を考慮したヒートバランスから板温の上下限値を満足するストリップの在炉時間（即ち、加熱時間又は均熱時間である）が設定さ

れ、この在炉時間を満足するための通板速度が設定されることになる。また、各冷却帯の冷却炉では、前記伝熱係数に冷却ガスジェットの伝熱係数等が採用される。

一方、このような連続焼鈍浸炭設備では，例えばコイルの継ぎ目等の非定常部位で操業条件を変更するなどの様々な操業条件が混在しており、これらを満足するために最も応答速度の速い通板速度を制御することも多い。しかしながら、前記連続焼鈍浸炭の板温制御を含む様々な操業条件から設定された通板速度に対して、浸炭炉内の浸炭諸条件を設定する具体的な手段は未だ提案されておらず、特に通板速度が設定されている条件下で、前記のような鋼板に要求される仕様諸元を満足するための浸炭量を達成する浸炭炉内の物性や温度を制御する手段が早急に望まれている。

こうした通板速度の制約を除外するためには、各熱処理帯間にルーパを介装することが考えられるが、元来、非常に大きな設置スペースを必要とする連続焼鈍設備やこれに連続浸炭設備を付加した連続焼鈍浸炭設備に、これも大きな設置スペースを必要とするルーパを設置することは、現実問題に照らして実用化することが困難である。

また、前記浸炭薄鋼板の仕様諸元は更に微細な条件を要求される傾向にあり、そのような仕様諸元を満足するためには金属帯表層部の浸炭濃度分布形態、即ち該表層部の浸炭濃度の深さ方向へのプロファイルまでも管理制御する必要が生じてきた。例えば、車両や電気機器に使用される鋼板では多くの場合、プレス加工後に焼付塗装を行うため、プレス加工時には前記延性Ｅｌや深絞り性ｒ値を発揮して成形性が高く、焼付塗装時に前記焼付硬化性ＢＨを発揮して強度が向上するといった特性が必要となる。同時にこれらの鋼板ではプレス加工時まではその成形性を維持できる常温遅時効性（低ＡＩ）も要求される。従って、これらの鋼板は深絞り性を有する常温遅時効性高焼付硬化型鋼板（低ＡＩ－高ＢＨ性鋼板）である必要が生じる。こうした鋼板を極低炭素鋼の連続焼鈍浸炭によって得る場合に必要となる鋼中浸炭濃度のプロファイル、即ち分布状態を検討すると、鋼板の厚さ方向内層部の炭素濃度は前記極低炭素鋼並に低いまま、表層部の炭素濃度を大きく高めて最適なＣ濃度勾配を形成するようにしなければならない。しかしな

がら、前記特公昭５４－３１９７６号公報に記載される浸炭深さ及び浸炭濃度の分布形態の制御方法では、こうした浸炭濃度プロファイルは考慮されておらず、この制御方法をそのまま浸炭濃度分布の制御に展開することはできない。

発明の開示

本発明は斯かる諸問題に鑑みて開発されたものであり、特に浸炭処理以外の操業条件から通板速度が規制され、この通板速度で行われる浸炭処理が前記表面反応律速域で行われる場合にあっても，スーティングを防止しながら、金属帯への所望する浸炭量，浸炭濃度分布を得ることのできる制御方法を提供することを目的とするものである。

本件発明者等は前記諸問題について鋭意検討を重ねた結果、以下の知見に基づいて本発明を開発した。即ち、浸炭炉内で遊離Ｃという形態で発生するスーティングの問題では、浸炭炉内の生成系の各成分量は変化しても，各元素レベルで考えれば夫々の総量は一定となる。そして、等温，等圧の系の場合、自然に起こる変化では当該浸炭炉内のギブスの自由エネルギーは減少し、浸炭炉内の雰囲気ガスと金属帯との間の平衡状態において系のギブス自由エネルギーは最小値となる。従って、このギブス自由エネルギーが最小となる雰囲気ガス組成を求めれば，炉内雰囲気の平衡状態を求めることができるので、遊離Ｃ（すす）の発生方向への反応を低減或いは抑止することができる。しかしながら、金属帯表層部における反応によって金属帯が雰囲気ガス中から持出す元素に対して原系が持込む元素成分が一定であるという物質収支の制約条件を加えなければ、連続浸炭の実際における真の平衡状態，即ち真のスーティング発生限界を算出することはできないことに着目した。従って、この物質収支の実際を考慮する際には、雰囲気ガス組成だけでなく、雰囲気ガス供給・排出流量、金属帯の通板速度、炉内温度、板厚、板幅などを考慮しなければならない。

そこで、本発明の金属帯の連続浸炭方法では、炭素、酸素、窒素又は炭素、酸素、水素、窒素を含み且つスーティングが発生しない浸炭雰囲気諸元を制御するにあたって、前記浸炭炉内の連続浸炭の実際における各元素レベルの物質収支を考慮して、炉内雰囲気全体のギブス自由エネルギーが最小となる状態を求めるこ

とにより炉内雰囲気の平衡状態を求めるようにした熱力学モデル式に基づいて、雰囲気ガス組成及び／又は炉内温度を算出することにより、炉内の前記各元素レベルの物質収支を考慮しないで、単に供給されたガス組成流量と炉内温度とから得た平衡状態からこれらを算出した場合に比して、スーティングの発生を防止しながら雰囲気組成のポテンシャルを高めることが可能となる。つまり、雰囲気ガス中のＣＯ濃度を高めて通板速度を上げるといった実際の操業能力を向上することができる。なお、前記雰囲気諸元の条件として、炉内温度が７００～９５０℃、一酸化炭素濃度が０％＜ＣＯ濃度≦２２％、水素濃度が０％≦H_2濃度≦３０％といった工業的連続浸炭操業の実際に則した条件を設定した。なお、前記雰囲気ガス組成中の窒素は、当該雰囲気ガスの濃度を希釈するための不活性気体と考えられることから、アルゴンＡｒ等の類似する不活性気体を用いてもよい。

また、前述のように金属表層部の炭素濃度が金属帯と雰囲気ガスとの間の平衡濃度以下の表面反応律速域で、金属帯への浸炭量を制御するためには、まず当該速度域における浸炭量，即ち表面反応速度を得、この反応速度を時間積分すればよいことに着目した。この時間、即ち浸炭時間は通板速度によって決定される。そして、この表面反応速度を研究するうちに，金属帯と雰囲気ガスとの表面反応で考えられる浸炭反応の式と脱酸素反応の式とに包含されるガスの組成を制御することにより、反応速度を制御できることを見出した。そしてこのガス組成に最も有効となるのは一酸化炭素と水素であり、特に高温下で雰囲気ガスの供給／排出流量の小さい場合には組成量は少ないが二酸化炭素及びH_2Oも、浸炭反応を阻害するといった意味で影響があることを見出し、更にこれらの組成は，その分圧が前記表面反応速度の制御因子であることを実験により証明した。また、物質反応の温度に対する依存度を考慮し、表面反応速度の係数に，金属帯温度という制御因子を介在させることとした。

そこで、本発明の金属帯の連続浸炭方法では、前記浸炭速度が金属帯表層部から内部への拡散速度よりも大きい表面反応速度に従う浸炭条件域で、例えば前記浸炭炉内の金属温度に関する予測式から浸炭の表面反応速度に係る温度依存係数を算出し、この温度依存係数と，前記一酸化炭素分圧又は一酸化炭素分圧及び水素分圧に関する予測式とから浸炭の表面反応速度を算出し、この表面反応速度か

ら前記浸炭時間に関する予測式に基づいて金属帯への浸炭量を算出することができるので、逆に浸炭後の鋼板に要求される仕様諸元から金属帯への浸炭量を設定し、前記各予測式に介在される制御量をパラメータとして，実際の連続浸炭に応じてこれらのパラメータを適宜に設定することにより、最も効率のよい浸炭条件の下に前記鋼板の仕様諸元を満足する金属帯への浸炭量を得ることができる。また、特に高温下で雰囲気ガスの供給・排出流量が小さい場合にあっては、浸炭反応を阻害するといった影響を考慮する意味で，例えば前記表面反応速度の予測式に二酸化炭素分圧及びH_2O分圧を制御量，即ちパラメータとして加えることにより、CO_2，H_2Oが存在する浸炭条件下での金属帯への浸炭量を正確に制御することが可能となる。

なお、前記雰囲気ガス組成中のCO_2及びH_2Oの濃度は、当該雰囲気ガスの投入流量を増加することにより低減することができ、また雰囲気ガスの投入流量を減少することにより増大することができる。

ところで、前記表面反応速度を時間積分する際には実際の浸炭時間を用いる。この浸炭時間は，単純計算で，浸炭時間＝在炉時間＝有効浸炭炉長／通板速度で表される。従って、前述のように浸炭処理以外の操業条件によって通板速度が規制されている場合には、逆にこの通板速度から設定される浸炭時間が固定されているものとして捉え、その他の制御因子を制御することで所望する浸炭量を制御することが可能であることを確認した。そして浸炭処理の実際にはこれらの浸炭時間と通板速度との相関関係に、浸炭炉内の雰囲気ガス組成と金属帯の温度を考慮すればよい。この場合に、規制される通板速度が或る範囲をもっているときには、更に制御の正確性を追求して前記浸炭時間を前記予測式のパラメータを加えることも可能である。

ここで、本発明の金属帯の連続浸炭方法では、例えば必要な浸炭量制御を行うために、熱処理と浸炭とを同時に行う場合や熱処理の後に幾らか温度を下げて浸炭を行う場合のように、板温制御と浸炭制御との場が同じ場合も異なる場合も、例えば通板速度の時系列的な考慮により同様な制御を可能とする。

一方、金属帯表層部の所定深さの浸炭濃度は、浸炭時間（拡散時間を含む）と浸炭温度とをパラメータとする、所謂フィック（Fick）の法則に基づく炭素拡散

モデル式で得られるのではないかという点に着目し、これを実験により証明した。従って、本発明の金属帯の連続浸炭方法では、所望される浸炭濃度分布をこの炭素拡散モデル式に当てはめることで各深さ位置の浸炭濃度を得るための浸炭時間と金属帯温度を設定することができる。また、前述した低ＡＩ－高ＢＨ鋼板等では所望とする浸炭濃度分布形態は、金属帯の表面に近いほど、即ち表層部の浅い部分ほど浸炭濃度が高く、金属帯の表面から遠いほど、即ち表層部から深い部分ほど浸炭濃度が低いが、前記浸炭薄鋼板に要求される仕様諸元から金属帯の浸炭濃度分布条件を設定すると、金属帯表面から１０～２５０μｍの深さの浸炭濃度分布を制御すればよいことが判明した。一方で、この浸炭濃度分布を深さ方向に積分することで浸炭量も設定される。更に、この浸炭濃度分布形態に冷却工程での脱炭の影響がある場合には，深さ凡そ１０～５０μｍに浸炭濃度の最大値が存在し、以下深さが増すに従って浸炭濃度は小さくなる。これらより、本発明の金属帯の連続浸炭方法では、総浸炭量が一定の場合には前記炭素拡散モデル式に基づいて、浸炭濃度分布形態のピーク点を捉える意味で前記深さ１０～５０μｍの範囲で一点の浸炭濃度を設定することで当該炭素拡散モデル式が確定し、総浸炭量が異なる場合でも、その他の一点以上の浸炭濃度を前記深さ１０～２５０μｍの範囲内で設定することで、前記炭素拡散モデル式が確定するから、例えばこの浸炭濃度分布形態を満足する深さ方向の各点の浸炭濃度が例えば目標値の所定許容範囲内になる浸炭濃度分布状態を算出して当該炭素拡散モデル式のパラメータとなる金属帯温度，雰囲気ガス組成及び浸炭時間を設定することができる。また、仮に、総浸炭量が設定されていない場合でも、この炭素拡散モデル式によって得られる浸炭濃度分布を深さ方向に積分することで、浸炭量を設定することも可能となる。更に、本発明の金属帯の連続浸炭方法では、ここに前記表面反応律速域の表面反応速度を適用することも勿論可能である。

更に、本発明の金属帯の連続浸炭方法では、浸炭工程で金属帯表層部に存在する固溶Ｃは未だ拡散若しくは脱炭可能な状態であり、この浸炭後の金属帯温度、例えば鋼板の冷却速度を制御することによって固溶Ｃの拡散及び脱炭を制御して、所望する浸炭濃度分布状態に固溶Ｃを固定化することを可能とする。

図面の簡単な説明

添付する図面中、第１図は、連続焼鈍浸炭設備で行われる熱処理工程の概念説明図、第２図は、本発明の金属帯の連続浸炭方法を用いた浸炭制御の対象となる連続焼鈍浸炭設備の一例を示す概略構成図、第３図は、金属帯表層部の炭素濃度が平衡濃度に達した後の拡散律速域と該平衡濃度に達する以前の表面反応律速域との説明図、第４図は、第２図の連続焼鈍浸炭設備で行われる全体的なライン制御のロジックを構築するアルゴリズムのフローチャート、第５図は、本発明の金属帯の連続浸炭方法において、表面反応速度の温度依存係数を算出するために浸炭温度を変化させて得られたデータの温度係数相関図、第６図は、本発明の金属帯の連続浸炭方法を用いて浸炭制御を行うロジックの一実施例を構築するアルゴリズムのフローチャート、第７図は、本発明の金属帯の連続浸炭方法により得られたスーティング発生限界と炉内の物質収支を考慮しないで得たスーティング発生限界とを比較したＣＯ－H_2特性図、第８図は、第６図の実施例のアルゴリズムによって得られた浸炭量の計算値と実測値との相関関係図、第９図は、第６図の実施例のアルゴリズムによって目標とする浸炭量を得るために算出された浸炭諸条件の説明図、第１０図は、第６図の実施例のアルゴリズムによって通板速度が設定された条件下で目標とする浸炭量を得るために算出された浸炭諸条件の説明図、第１１図は、本発明の金属帯の連続浸炭方法を用いて、炭素拡散モデル式に従って得られた浸炭濃度分布と実測浸炭濃度分布との相関の一例を示す説明図、第１２図は、第６図の実施例のアルゴリズムによって雰囲気ガス組成濃度及び浸炭時間を制御した場合に得られる浸炭濃度分布の一例を示す説明図、第１３図は、第６図の実施例のアルゴリズムによって浸炭後の冷却速度を制御した場合に得られる浸炭濃度分布の一例を示す説明図、第１４図は、本発明の実施例で使用される雰囲気組成モデル式に従って算出された浸炭炉における発生ガス組成結果とその実測結果を示す説明図である。

発明を実施するための最良の形態

第２図は本発明の金属帯の連続浸炭方法を実施化した極低炭素鋼からなるストリップの連続焼鈍浸炭設備の一例を示すものである。

同図において極低炭素鋼ストリップＡは、前記した第１図に示す板温制御の経緯・履歴を満足するように、コイル巻戻し機，溶接機，洗浄機等を有する図示しない入側設備、予熱帯１、加熱帯２、均熱帯３、浸炭帯４、第１冷却帯５、第２冷却帯６、剪断機，巻取り機等の図示しない出側設備の順に通板される。

前記加熱帯２は、入側設備から連続的に通板されて予熱帯１で予熱されたストリップＡを再結晶温度以上まで加熱するものであり、具体的には炉内温度が８５０～１０００℃でストリップＡの温度が７００～９５０℃になるように当該ストリップを加熱する。そして加熱されたストリップＡは前記均熱帯３で必要な時間，再結晶温度以上に保持されることにより、深絞り性に有利な｛１，１，１｝集合組織を発達させることができる。

この加熱帯２及び均熱帯３内を，ハースロールを介して上下に昇降しながら通板されるストリップＡの通板路の近傍には多数のラジアントチューブが配設されており、このラジアントチューブに供給される燃料ガスを燃焼させて炉内温度（炉温）を制御する。この燃料ガスの供給流量の設定は、後述する図示されないホストコンピュータにより、ラジアントチューブ，ストリップ，ハースロール等の間の伝熱係数を考慮したヒートバランスから炉内温度の上限値が設定され、所望する再結晶温度の上下限値を満足するプロセスモデル計算や、コイル同士の継ぎ目での通板速度の最適時系列を算出する最適ルート計算や、ハースロールのヒートクラウンを予測計算して最大通板速度を算出するサーマルクラウン計算等に基づいて、各熱処理帯内の在炉時間（加熱時間，均熱時間）を達成する通板速度と共に設定される。ここで本実施例では、前記ラジアントチューブへの燃料ガスの供給流量の設定は、通板されて炉から熱量を運び出すストリップへの加熱量に排ガス損失熱及び炉体放散熱等を加えた炉内の熱収支から求まる炉の要求（必要）熱量と同等であり、図示されないホストコンピュータにより後述するライン全体の制御アルゴリズムに則って行うことも可能とした。

前記浸炭帯４は、ストリップＡ表面の極薄い部分（表層部）に固溶炭素（Ｃ）が存在する浸炭相を形成するために、該浸炭帯４内の浸炭炉は図示されないホストコンピュータにより金属帯温度は７００～９５０℃に制御され、またストリップが７００℃以上、好ましくは再結晶温度以下となるようにして、浸炭炉内を１

０～１２０秒で通過するように通板速度が制御される。この制御は、浸炭量（浸炭反応速度×浸炭時間）をストリップの通板方向に対して一定とし、材質上のバラツキを抑止するために行われる。ちなみに前記炉温制御は、ストリップ温度が７００℃未満であると金属帯表面における浸炭反応速度が低下して熱処理生産性が低下し、また炉内温度が９５０℃を越えると変態点を越えて材質が劣化するといった問題を回避し、浸炭条件を満足するために行われる。また、既知のようにスーティング、即ち鋼板の表面に遊離炭素［Ｃ］が付着すると、化成処理性の劣化等、品質低下及び後工程の弊害要因となる。同時に炉内の反応が所定の方向、例えば浸炭反応方向に促進した結果、露点が上昇すると浸炭反応が阻害されたり、ストリップ表面に酸化が生じてテンパーカラーの原因となったりするため、炉内物性及び炉内温度は後述する浸炭条件設定アルゴリズムに基づいて重要に管理されている。

この浸炭炉内に供給される浸炭ガスの組成及び供給・排出流量は、前記ホストコンピュータが、後述する炉内の物質収支を考慮して炉内の自由エネルギーを最小とする熱力学（雰囲気組成）モデル式に基づいて算出した、諸条件に従って制御されている。この浸炭ガスの組成及び供給・排出流量は前記スーティングを防止すると共に、前記露点上昇を抑制して浸炭反応速度の低下やテンパーカラーを防止するように制御される。勿論、次いで説明するストリップに形成される浸炭層の浸炭濃度分布，浸炭深さ等のストリップの仕様諸元を最優先し、更に前記通板速度，炉内温度に鑑みて前記浸炭ガスの組成及び供給・排出流量を算出することは言うまでもない。

そして、この浸炭炉内の物性，炉温，金属帯温度，通板速度即ち浸炭時間，雰囲気ガス組成は、連続浸炭の実際における制御対象物理量（制御量）と見なされ、前記ホストコンピュータにより、ストリップに形成されるべき要求される浸炭層の浸炭濃度分布，浸炭深さ等の仕様諸元から、例えば必要な浸炭量を設定し、後述する予め設定したこれら制御量に関する各種の基礎式を適宜取捨選択して、当該浸炭量を実現するための各制御量を算出し、その他の設備の能力やプロセスをも考慮して、それらの制御量を設定するようにしてある。

ちなみに浸炭炉内のストリップはハースロール１０を介して炉内を昇降しなが

ら通板されているが、これらのハースロール１０はその回転性及びロールクラウンを所定状態に保持するために、例えば軸受近傍等が冷却されている。また、ロール自体の強度及び耐磨耗性を維持するためにハースロールにはクロムＣｒ合金が使用されている。ところが、前記浸炭雰囲気ガスがハースロール近傍まで及ぶと冷却されてスーティングが進行するため、ハースロールにＣが付着した後、ハースロール内部にＣが拡散する。このようになると前記ＣｒとＣが結合してＣｒ炭化物が析出し、これによりハースロールに用いられている耐熱合金の結晶粒が破壊され或いは膨張し、一方で固溶Ｃｒが減少するため、ハースロールが脆化、酸化されることにより孔状の腐食が進行する。このようにハースロールを浸炭雰囲気ガス中に曝すと、本件発明者等の実験によれば２年以内でハースロールを交換しなければならないことが判明している。そこで本実施例では、ハースロール室を非接触のシール装置１１によって浸炭雰囲気から分離してハースロールの劣化を防止するようにし、また該ハースロール室内を前記ハースロールの劣化が進行しない程度の微弱浸炭状態とすることによって、分離されたハースロール室内をストリップが通過する間に浸炭された表層部からＣが放散する、所謂脱炭を防止することに成功した。なお、ストリップがハースロール室を通過する時間が極めて短く、当該時間に係る鋼板表層部からの脱炭が問題とならない場合には、前記ハースロール室内を非浸炭雰囲気としてもよい。

前記シール装置１１はここではその構造を詳述しないが、例えばハースロール室と浸炭雰囲気室との間に介装されたシール層を３層構造とし、このうちハースロール室側のシール層には前記弱浸炭雰囲気ガスを噴出し、浸炭雰囲気室側のシール層には前記浸炭雰囲気ガスを噴出し、中間のシール層からは排気を行うようにし、更に各雰囲気ガスの噴射方向及び噴射流量を制御して各雰囲気ガスの流れが前記中間のシール層側に向かうようにすると共に、ストリップの通板に伴う板面気流によって発生する循環流をシール層のうちストリップの幅方向端面に形成された排出口から排気する構成とした。

この浸炭帯４から送出されたストリップＡは前記第１冷却帯５に通板される。この第１冷却帯５では、前記浸炭帯４で浸炭された固溶Ｃをストリップの表層部のうち表面の極薄い範囲にのみ固定するため、浸炭後のストリップを、鋼板温度

が６００℃以下、好ましくは５００～４００℃程度になるまで５℃／sec.以上の冷却速度で急冷する。この第１冷却帯５内ではこの冷却条件が達成できるように、前記ホストコンピュータにより冷却帯内を搬送されるストリップに対して冷却ガスジェットから吹付けられる冷却ガス流量，流速及び冷却ロール温度，巻付け角等が制御される。

前記第１冷却帯５から送出されたストリップＡは次いで第２冷却帯６に通板される。この第２冷却帯６では鋼板温度が２５０～２００℃程度までガス冷却が行われる。このようにして最終的には表層部の固溶Ｃの量及び形態が制御された極低炭素プレス成形用冷延鋼板を得ることができる。

次に、本実施例の連続焼鈍浸炭設備において、前記ホストコンピュータによって行われるトータルな連続焼鈍浸炭制御の構成概念について説明する。なお、理解を容易化するために、これ以後、浸炭反応に係る金属帯の温度を浸炭温度とも記すが、その実質的な制御因子が炉内温度であることは前述の内容から明らかであろう。

まず、前述したように浸炭帯における浸炭制御では、鋼板中の浸炭濃度分布が要求される場合を含めて、当該鋼板への浸炭量は目標材質を得るための与条件として与えられる。例えば浸炭濃度分布が要求される場合は、その分布を深さ方向に積分することで浸炭量が設定される。そして、材質条件から浸炭温度の上限は再結晶温度以下に設定される。一方、前記浸炭炉の最大処理能力を得るためには浸炭量＝浸炭反応速度×浸炭時間の原理に基づいて浸炭反応速度を大きくする必要があり、この必要から浸炭反応速度に関与する浸炭温度は高いほどよく、これは後述するスーティングの発生を防止してＣＯ濃度上限を高くすることにも繋がる。

本実施例では前記スーティングの発生限界を物質収支を考慮した熱力学（雰囲気組成）モデル式により得ることができるが、単にスーティングの発生しない範囲からという条件だけでは、雰囲気組成に関与するＣＯ濃度及びH_2濃度を設定するとことが困難である。そのため、本発明では前記浸炭反応速度を阻害しない関係式を予め設定し、例えば前記スーティングの発生しない雰囲気組成モデル式によって得られたＣＯ濃度を基準として、この関係式を用いてH_2濃度を算出す

る。具体的には、

H_2 濃度＝ａ×（ＣＯ濃度）

但し、

ａ：０≦ａ＜５の範囲の定数

で表される。この定数ａは、具体的には後述する表面反応速度の基礎式で、反応を阻害するCO_2とH_2Oの生成濃度を最小に抑える値に設定され、通常は０．５～１．０の範囲で設定することが多い。即ち、この関係式を満足するときに、表面反応速度式に基づく浸炭反応速度は最大となる。

また、本実施例では前記設定された表面反応速度に基づいて所望される浸炭濃度分布を達成するための浸炭時間が設定される。即ち、表層部のＣ濃度だけを高めて内層部のＣ濃度との勾配を急峻にする場合には、浸炭反応速度を大きくして（浸炭力を高めて）浸炭時間を短くすればよい。逆に、鋼板のＣ濃度全体を高めて内層部と表層部とのＣ濃度勾配を緩やかにする場合には、浸炭反応速度を小さくして（浸炭力を低めて）浸炭時間を長くすればよい。これらの浸炭反応速度と浸炭時間の制御は、前述した浸炭量一定の制約条件を満足する。

一方、前記加熱帯や均熱帯等の項でもふれたように浸炭帯以外の各板温制御帯でも夫々の炉の能力計算やプロセス計算によって最適な通板速度が設定される。これらの各板温制御帯の最大通板速度と前記浸炭帯の最大通板速度を考慮した場合、ストリップが一連に通板される連続焼鈍浸炭設備では、いずれの通板速度が設備全体の通板速度を律速するかを判断しなければならない。この場合には、鋼板のあらゆる仕様諸元を考慮しなければならず、しかもその仕様諸元は絶対条件として与えられる。

以上から、前記浸炭帯で得られる最大通板速度が、前記各板温制御帯で得られる各最大通板速度の最小値よりも大きい場合には、各板温制御帯の最大通板速度の最小値をライン通板速度として設定し、この通板速度で前記浸炭量を満足する浸炭炉の雰囲気条件を再度設定し直す必要がある。なお、この場合は浸炭時間が長くなるから、前記浸炭量一定の制約条件下では浸炭反応速度を低下させる方向、即ち雰囲気ガス中のＣＯ濃度，H_2濃度を低下させる方向に設定し直すことになり、必然的に前記スーティングを発生しない条件を満足することになる。

逆に前記各板温制御帯で得られる各最大通板速度の最小値が、前記浸炭帯で得られる最大通板速度以上である場合には、浸炭帯の最大通板速度をライン通板速度として設定し、この通板速度で各板温制御帯の板温を満足するために炉温や燃料供給量を板温制御量として設定し直す必要がある。

これらの制御概念を具体化したのが前記ホストコンピュータで行われる第4図に示すアルゴリズムである。

この演算処理では、まずステップＳ２０で浸炭帯，各板温制御帯において、設備能力の上限を制約条件として、各種鋼板の加熱、浸炭及び冷却仕様を満足する通板速度の最大値を設定する。具体的には、例えば前記加熱帯2、均熱帯3においては、伝熱理論を基礎とした数式モデルに基づいて、前記ラジアントチューブ、炉壁、ストリップ、ハースロール等の間の伝熱を考慮したヒートバランスから、プロセスモデル式を設定し、このプロセスモデル式に基づいて、設備上設定が可能な炉温及び燃料ガス供給流量又は電気加熱装置の容量の範囲内で且つ目標板温を満足できる通板速度の最大値（以下、最大通板速度と記す）を算出する。

一方、浸炭帯4においては、後段に詳述する熱力学を基礎とした数式モデルに基づいて、浸炭炉内の物質収支を考慮した浸炭炉内の雰囲気ガス組成モデルを設定し、この雰囲気ガス組成モデルと浸炭反応速度式からスーティングを発生しない雰囲気ガス組成（具体的にはＣＯ）の上限値以下で且つ目標浸炭量を満足する最大通板速度を算出する。

また、冷却帯5、6においては、冷却ガスジェットによる冷却ガスとストリップの伝熱を考慮したモデル式に基づいて、冷却ガス供給能力の範囲内で且つ目標冷却速度及び／又は目標冷却終了温度を満足する最大通板速度を算出する。

なお、前記冷却帯5、6において、冷却方式として、ガスジェット方式以外の冷却ロール方式やミスト冷却方式を用いた場合には、これらの冷却装置で使用する媒体とストリップとの伝熱を考慮したモデル式を用いて同様の計算を行えばよい。

以上のようにして、算出された浸炭帯を含む各熱処理帯の最大通板速度を比較して、その最小値をライン全体の最大通板速度として設定する。

次にステップＳ２１に移行して、前記ステップＳ２０で設定したライン全体の

最大通板速度を用いて、浸炭帯を含む各熱処理帯の夫々において、鋼板の加熱、浸炭及び冷却仕様を満足する制御量の設定値を求める。

具体的には例えば、前記加熱帯2、均熱帯3においてはステップＳ２０で述べた伝熱モデルを用いて、目標板温を満足する炉温を設定する。この炉温は、フィードバック制御により燃料ガス供給流量又は電気加熱装置の負荷を制御してもよいし、前述したプロセスモデル計算に基づき、鋼板のコイルの継ぎ目等の板温変動を最小とする燃料ガス供給流量又は電気加熱装置の負荷の最適時系列を最適ルート計算により算出して、これに基づいてフィードフォワード制御を行ってもよい。

一方、浸炭帯4においては、目標値が浸炭量のみの場合と、浸炭量と共に鋼板厚さ方向へのＣ濃度分布形態の目標値が指定される場合がある。目標浸炭量のみが指定されている場合には、前記ステップＳ２０で述べた雰囲気ガス組成モデルと鋼板表面の浸炭反応速度式とを用いて目標浸炭量を満足する雰囲気ガス組成を算出する。それに対して、目標浸炭量と共に鋼板厚さ方向へのＣ濃度分布形態の目標値が指定されている場合には、雰囲気ガス組成モデルと鋼板表面の浸炭反応速度式と共に、浸炭時間だけでなく冷却期間も考慮した鋼中拡散モデルを用いて、通板速度を前記ステップＳ２０で設定したライン全体の最大通板速度以下の範囲で、目標とする鋼板厚さ方向へのＣ濃度分布形態が設定可能な通板速度に再設定すると共に、目標浸炭量を満足する雰囲気ガス組成を算出する。なお、ここで再設定された通板速度は、本ステップ以降におけるライン全体の通板速度として設定する。また、本実施例では、鋼板厚さ方向へのＣ濃度分布形態が目標値を満たすための通板速度設定のロジックを本ステップＳ２１で説明したが、設定した通板速度がその他の要因で設定変更されるのを防止するために、鋼板厚さ方向へのＣ濃度分布を満たす通板速度設定は後述するステップＳ２３で実施することが望ましく、実施例ではこのステップＳ２３で実施している。

冷却帯5、6においては、前記ステップＳ２０で述べた伝熱モデルを用いて、目標冷却速度や目標冷却終了温度を満足するように冷却ガスジェットの風速をファンの回転数等により設定する。

次にステップＳ２２に移行して、浸炭帯を含む各熱処理帯のハースロールのヒ

ートクラウンを板温モデルとロール室の熱バランスモデルとにより予測計算し、ロールクラウンがストリップの蛇行発生限界内やバックリングの発生限界内になるような最大通板速度を算出する，所謂サーマルクラウン計算を行う。なお、ここで算出された最大通板速度が前記ステップＳ２１までのステップで設定されたライン全体の最大通板速度よりも大きい場合には次のステップＳ２３に移行する。一方、ここで算出された最大通板速度が前記ステップＳ２１までのステップで設定されたライン全体の最大通板速度よりも小さい場合には、本サーマルクラウン計算で求めた最大通板速度をライン全体の通板速度に再設定し、前記ステップＳ２１に移行する。

前記ステップＳ２３では、コイルの継ぎ目溶接の実施やコイル検査等の操業上の理由やその他の理由（主としてトラブル）によって、目標とする通板速度が予め指定されている場合に、その指定された通板速度が前記ステップＳ２０～Ｓ２２で設定されるライン全体の最大通板速度以下であることをチェックした後に、ライン全体の通板速度を指定された通板速度に設定する。

次にステップＳ２４に移行して、最終的に設定されたライン全体の通板速度に対して、浸炭帯を含む各熱処理帯の夫々において鋼板の加熱、浸炭及び冷却仕様を満足する制御量を算出し、設定する。本ステップでの計算内容は前記ステップＳ２１と同様であるが、鋼板厚さ方向へのＣ濃度分布形態に基づく通板速度の設定計算は行わない。

なお、本ロジックの説明において、浸炭帯４において、目標板温を満足するための板温制御の記述を省略したが、当該浸炭帯４の板温制御は、ロジックの説明の中で述べた加熱帯２、均熱帯３における板温制御と同じ内容であると考えればよい。

次に前記浸炭帯で行われる浸炭雰囲気制御について説明する。

まず、前述した低ＡＩ－高ＢＨ鋼板のようなプレス成形性に富み且つ強度を有する鋼板を得るために要求されるストリップの仕様諸元に基づいて、本実施例における浸炭処理条件が従来の浸炭処理条件に比してどのようなレベルにあるのか、そしてその浸炭処理条件を満足するために必要な項目について説明する。

従来の浸炭技術は、歯車，シャフト，ベアリング等の所謂調質鋼からなる不連

続物の耐磨耗性，耐衝撃性向上等のために表面硬化を目的として行われる。そのため、素材中のＣ量は０．０５％以上で要求される浸炭量は０．１％以上、浸炭深さは０．５～１．５ｍｍ以上であり、従って浸炭所要時間は１～５時間にも及ぶ。このような条件下では鋼板表層部のＣ濃度が時間に対して平衡濃度に達しているから、前記第３図に示すように浸炭速度は鋼中への拡散速度に従う鋼中拡散律速域であり、その浸炭速度は時間の平方根に比例する。この浸炭速度域では、鋼板表層部の鋼中平衡Ｃ濃度が、所定の値となるように鋼中拡散速度が表面反応速度と等しくなるように雰囲気ガスのカーボンポテンシャル（Ｃポテンシャル）を制御する必要があり、実際の操業管理指標としてはCO/CO_2の管理が重要になる。

一方、本実施例のようなストリップの連続浸炭においては、該ストリップが前記極低炭素鋼からなる連続物であり、このストリップの表面特性を改善すること及び鋼板そのものの材質の向上を目的として行われる。そのため、例えば前記の耐二次加工脆性の向上を対象とする金属に要求される仕様（特開平３－１９９３４４号公報など）から当該金属帯の浸炭条件を求めると、本実施例では素材中のＣ量は２０ｐｐｍで要求される浸炭量は２００ｐｐｍ以下、浸炭深さは５０～２００μｍであり、しかも通板速度に左右される浸炭時間は１２０秒以下になる。このような条件下では鋼板表層部のＣ濃度が時間に対して平衡濃度に達しないから、前出した葉らの報告にあるように、第３図に示すように浸炭速度は鋼表面の反応速度に従う表面反応律速域であり、該浸炭速度は時間そのものに比例する。この表面反応律速域では浸炭量，浸炭深さ共に非平衡状態であるから、実際の操業管理指標として従来のように単に鋼中表層部の平衡Ｃ濃度となるようにＣポテンシャル制御によってCO/CO_2を管理するだけでなく、炉内における多数の制御量を考慮して、要求される鋼板の仕様諸元から決定される浸炭量を得るように、浸炭条件を設定する必要がある。

また、実際の連続焼鈍浸炭操業では、例えば前記第４図に示すアルゴリズムのように浸炭帯以外のヒートセクションで行われる板温制御の実際から通板速度が設定される場合を始めとして、種々の操業条件から最も応答速度の速い通板速度を制御することが多々ある。そこで、本発明の連続浸炭方法では、浸炭処理以外

の連続焼鈍浸炭操業条件から通板速度が規制された場合に、当該通板速度の下に、要求される鋼板の仕様諸元から金属帯表層部の浸炭量を満足する浸炭条件とを設定する。

ここで、本実施例において浸炭量を制御するために前記ホストコンピュータで処理されるアルゴリズムに則り、そのロジックを構築する基本的な原理について説明する。

まず、前記表面反応律速域において雰囲気ガスの組成を制御するにあたっては前述のようにスーティングの発生を防止すると共に露点上昇を抑制する必要があるが、これらの状態発生メカニズムについて以下のように推論する。

一般に、浸炭条件における雰囲気ガス組成は化学平衡により求めることができる。従来の解法では考え得る反応を全て列挙し、これらの反応の平衡関係から、非線形の連立方程式を解くことによってガスの組成を得ている。しかし、気相系の反応式だけからは正確なすす発生（スーティング）の限界を求めることが極めて困難である。

そこで本実施例では以下のようにして熱力学（雰囲気組成）モデル式を考え、スーティング発生を防止する雰囲気ガス組成を求めた。

等温，等圧の系の場合、自然に起こる変化ではギブス自由エネルギーが減少し、平衡状態において系のギブス自由エネルギーは最小値をとる。従って、雰囲気ガスの平衡状態を求めるためには、生成系の各成分ガス濃度を変数として得られる全系のギブス自由エネルギーを目的関数とし、これを原系が持込む元素成分が一定であるという物質収支の制約条件下、具体的には炉内に供給される雰囲気ガス組成及び供給量と浸炭によって金属帯に炉内から持出されるＣ量が一定という制約条件下で最小値となるように各成分ガス濃度を求めればよい。この成分ガス濃度が与えられた炉温，炉圧における雰囲気ガスの平衡組成となり、スーティングＣ量は以下に述べるロジック中で凝縮種の一つとして表される。

雰囲気ガスの組成を算出するにあたり、二つの仮定を設定する。その一つは、気体は理想気体とすること。もう一つは、遊離Ｃに代表される凝縮相は気体と混合できないとすることである。この仮定の下にガス種と凝縮種との全自由エネルギーＦ(X) は、ｉ番目のガス種の自由エネルギー f^{g}_{i}，ｈ番目の凝縮種の自由

エネルギーf^c_hに対して下記1式で与えられる。

$$F(X)=\sum_{i=1}^{n} f^g_i+\sum_{h=1}^{p} f^c_h \quad \cdots\cdots (1)$$

但し、

n：ガス種の数，p：凝縮種の数

を示す。

ここで、前記ガス生成物に関するi番目のガス種の自由エネルギーf^g_iは、i番目のガス種のモルエネルギーC^g_iに対して当該ガス種のモル数がx^g_iとして下記2式～4式で与えられる。

$$f^g_i=x^g_i\,(C^g_i+\ln(x^g_i/X)) \quad \cdots\cdots (2)$$

$$C^g_i=(F/(R\cdot T))^g_i+\ln P \quad \cdots\cdots (3)$$

$$X=\sum_{i=1}^{n} x_i \quad \cdots\cdots (4)$$

一方、凝縮生成物については、前記仮定の下に圧力及び混合の影響は除かれるので、h番目の凝縮種の自由エネルギーf^c_hは、h番目の凝縮種のモルエネルギーC^c_hに対して当該凝縮種のモル数がx^c_hとして下記5式，6式で与えられる。

$$f^c_h=x^c_h\cdot C^c_h \quad \cdots\cdots (5)$$

$$C^c_h=(F/(R\cdot T))^c_h \quad \cdots\cdots (6)$$

なお、前記3式，6式中の$(F/(R\cdot T))$は下記7式で定義される。

$$(F/(R\cdot T))_i=((F-H_{298})/T)_i/R+\Delta H^0_{f,298,i}/RT \quad \cdots\cdots (7)$$

次にこの系における物質収支を考慮する。生成系の各成分量は変化しても、各元素、即ち雰囲気ガス成分中の炭素C，水素H，窒素N，酸素Oの原子単位で見れば夫々の総量は一定となる。この物質収支式は下記8式で表される。

$$\sum_{i=1}^{n} a^g_{ij}\cdot x^g_i+\sum_{h=1}^{p} a^c_{hj}\cdot x^c_h=b_j \quad \cdots\cdots (8)$$

但し、

$j=1, 2, \cdots\cdots, m$

a^{g}_{ij}：i番目のガス種の分子に含まれるj番目の元素の原子数

a^{c}_{ij}：i番目の凝縮種の分子に含まれるj番目の元素の原子数

b_j：系に存在するj番目の元素の量

m：系に存在する元素種の数

を示す。

ここで本実施例では、前記ホストコンピュータ内に記憶させたプログラムにより、前記8式及び前記1式から線形化した雰囲気組成モデル式を設定し、この雰囲気組成モデル式から得られる解を収束して最適解を得ることとした。

この雰囲気組成モデル式に従って、浸炭炉における発生ガス組成を算出してみた。その算出結果と実測結果を第14図に示す。

同第14図からも明らかなように浸炭炉内のガス組成は当該算出結果は実測値によく一致している。

次に実際の連続浸炭における雰囲気ガス組成の必要条件について考慮するにあたり、炉内のCバランスを下記9式，10式で与えた。なお、10式は鋼板の仕様諸元と表面反応速度によって算出される関数である。

$$W^{g}_{i} = W^{s}_{c} + W^{g}_{o} \quad \cdots\cdots\cdots (9)$$

$$W^{s}_{c} = \xi (V,\ t,\ w,\ LS) \quad \cdots\cdots\cdots (10)$$

但し、

W^{g}_{i}：炉内に入る雰囲気ガス中のC質量

W^{s}_{c}：ストリップに持去られるC質量

W^{g}_{o}：炉内から出る雰囲気ガス中のC質量

V：表面反応速度，　t：浸炭時間，　w：板幅

を示す。

このようにして、浸炭炉内の連続浸炭の実際における物質収支を考慮した熱力学（雰囲気組成）モデル式に基づいて前記雰囲気諸元を算出することにより、確実にスーティングの発生を防止しながら、炉内の物質収支を考慮しないで求めた雰囲気諸元に比して雰囲気組成の浸炭力を高めることが可能となる。従って、例えば雰囲気ガス中のCO濃度を高めて通板速度を上げるといった実際の操業能力を向上することができる。

次に、本実施例の主幹部を構成する浸炭量制御の原理について説明する。

雰囲気ガスにＣＯを用いた場合の表面反応は下記１１～１３式のように考えられる。

$CO \Leftrightarrow [C] + O$ ……(11)

$CO + O \rightarrow CO_2$ ……(12)

$Fe + [C] \rightarrow Fe-C$（鋼中拡散） ……(13)

前述した葉らによれば鋼板表層部のＣ濃度が極めて低く且つ浸炭時間が極めて短い場合には浸炭条件が平衡状態に達せず、そのため１３式の反応速度は１２式の吸着酸素の脱離反応よりも速いために、この反応が律速反応であると仮定し、この表面反応律速域における表面反応速度Ｖを下記１４式で表した。

$V = k \cdot PCO\ (PCO / (PCO + (ac / K)))$ ……(14)

但し、

ｋ：反応速度定数，ＰＣＯ：ＣＯガス分圧，ａｃ：炭素活量，Ｋ：平衡定数

を示す。

しかしながら、前記１４式にはH_2の影響が考慮されていない。H_2に関する反応式としては、前記１２式で表される反応式に対して下記１５式で表される反応が考えられる。

$CO + H_2 + 2O \rightarrow CO_2 + H_2O$ ……(15)

また、生成したCO_2に対して下記１６式で表される反応等が考えられる。

$H_2 + CO_2 \Leftrightarrow H_2O + CO$ ……(16)

これらの反応式に基づき，H_2は浸炭反応を促進する効果があることから、本実施例では基本的な表面反応速度Ｖを下記１７式で表した。

$V = k_1 \cdot f_1\ (PCO,\ PH_2,\ \theta_o)$ ……(17)

但し、

θ_o：吸着酸素の被覆率

を示す。

なお、浸炭によって発生するCO_2やH_2Oの雰囲気ガス中の濃度が高い場合（例えば$CO/CO_2 \leqq 50$）には、下記１８式や１９式で表される反応によって浸炭反応が阻害される。

$C+CO_2 \Leftrightarrow 2CO$ ……(18)

$C;H_2O \Leftrightarrow CO+H_2$ ……(19)

従って本実施例では、これらの浸炭反応の阻害因子を考慮して表面反応速度Vを下記20式又は21式によって表すこととした。

$V=k_1 \cdot f_1 (PCO, PH_2, \theta_0) \times \alpha \cdot f_3 (PCO, PCO_2)$ ……(20)

$V=k_1 \cdot f_1 (PCO, PH_2, \theta_0) - k_2 \cdot f_2 (PCO_2, PH_2O)$ ……(21)

但し、前記

α：定数、k_1，k_2：反応速度定数

を示し、反応速度定数k_1，k_2は下記22式で設定することができる。

$k_i = A_i \cdot \exp(-E_i/RT)$ ……(22)

但し、

A_i：頻度因子，E_i：活性化エネルギー，R：気体定数，T：絶対温度

を示す。なお、頻度因子A_i，活性化エネルギーE_i，気体定数Rはいずれも定数であるため、反応速度定数k_1，k_2は種々の絶対温度Tの条件下における実験値から算出した。第5図に実験によって得られた反応速度定数k_1を示す。

なお、本実施例においてCO濃度だけを考慮すればよい場合、例えば雰囲気の供給ガス流量が多い場合には、前記14式を表面反応速度式として使用してもよい。

次に本実施例で、所望される浸炭濃度分布を得るためにモデル式化された固溶炭素の鋼中拡散について説明する。鋼中へのCの拡散状態はフィックの法則に基づいて下記23式に示す炭素拡散モデル式で表される。

$dC/dt = D \cdot d^2C/dX^2$ ……(23)

但し、

C：鋼中のC濃度，t：時間，D：拡散係数，X：拡散距離

を示す。

前記拡散係数Dは下記24式で表されるアレニウスの式によっても設定されるが、本実施例では実測データにより近似的に表示することとした。

$$D = \exp(a \cdot T^{-1} + b) \quad \cdots\cdots(24)$$

但し、

T：浸炭温度，a：比例係数，b：定数

を示す。

従って、前記１７式又は２１式又は２２式及び２３式により鋼板への浸炭量を算出することができる。このことは浸炭量一定の条件では所望される浸炭濃度分布の一点の浸炭濃度を設定すれば前記炭素拡散モデル式が設定され、浸炭量が異なる場合でも浸炭濃度分布の二点以上の浸炭濃度を設定すれば前記炭素拡散モデル式は設定されることを意味する。また、前述のように浸炭処理以外の操業条件から通板速度が規制されている場合には、前記２３式中の浸炭時間ｔは通板速度L_sで有効浸炭炉長Ｌを除した値に決定されているから、前記２３式を浸炭時間で時間積分する際に、この計算値を使用する。

以上の演算を前記ホストコンピュータに予め記憶されたプログラムにより順次行って、浸炭後の鋼板の仕様諸元、即ち本実施例では所望される浸炭濃度分布から与えられるストリップへの浸炭量と、雰囲気ガス中のＣ減少量から算出されるストリップへの浸炭量とが一致する、浸炭条件を設定するためのアルゴリズムを第６図のフローチャートに示す。

まずステップＳ１では、浸炭後の鋼板仕様諸元として与えられる条件設定から、雰囲気ガスの組成，投入ガスの流量，浸炭温度及び通板速度，鋼板諸元並びに鋼板の浸炭濃度分布から鋼板表面より指定深さX_1のＣ濃度C_1等の条件を読込む。また、ここでは例えば通板速度をＬＳとし、追って行われるフローで修正されるパラメータとする。

次にステップＳ２に移行して、前記鋼板諸元及び鋼板仕様から鋼板への設定浸炭量ΔＣを設定し、浸炭炉からストリップによって持出される，単位時間当たりのＣ量を算出する。

次にステップＳ３に移行して、前記ステップＳ１で読込んだ雰囲気ガスの組成から前記雰囲気組成モデル式を設定する。

次にステップＳ４に移行して、前記ステップＳ３で設定した雰囲気組成モデル式に従って、前記浸炭炉からストリップにより持出されるＣ量を考慮した雰囲気

ガスの各成分濃度を算出する。

次にステップＳ５に移行して、前記１７式に基づいて鋼板の表面反応速度を算出する。

次にステップＳ６に移行して、前記２３式に基づいて鋼中への浸炭速度を算出し、鋼中へのＣ拡散量を算出する。

次に当該浸炭処理時間が経過した場合にはステップＳ７に移行して、前記のステップＳ５又はステップＳ６で算出された単位時間及び単位面積当たりの表面反応速度又は鋼中への拡散Ｃ量を処理時間及び鋼板総表面積で積分して鋼板への浸炭量ΔＣ’を算出する。

次にステップＳ８に移行して、前記設定浸炭量ΔＣと上記計算結果の浸炭量ΔＣ’との差の絶対値が所定値ａより小さいか否かを判定し、両者の差の絶対値が所定値ａより小さい場合にはステップＳ１０に移行し、そうでない場合にはステップＳ９に移行する。

前記ステップＳ９では、前記浸炭量に基づいて設定浸炭量を下記２５式に基づいて補正し、前記ステップＳ３に移行する。

$$\Delta C = \Delta C + (\Delta C' - \Delta C) \times b \qquad \cdots\cdots(25)$$

但し、

ｂ：定数

を示す。従って、浸炭戸からストリップにより持出される総Ｃ量と浸炭した総Ｃ量とが等しくなれば、即ち浸炭炉内の物質収支が満足あれれば、ステップＳ１０に移行する。

前記ステップＳ１０では、前記目標浸炭量ΔC_0と設定浸炭量ΔＣとの差の絶対値が所定値ｄより小さいか否かを判定し、両者の差の絶対値が所定値ｄより小さい場合にはステップＳ１２に移行し、そうでない場合にはステップＳ１１に移行する。

前記ステップＳ１１では、前記浸炭濃度分布条件から設定される設定浸炭量を得るために雰囲気ガス流量，雰囲気組成，通板速度，浸炭温度の各パラメータの何れか一つ以上を変更して、前記ステップＳ２に移行する。ここで、例えば前記所定浸炭量ΔC_0と設定浸炭量ΔＣとの格差を補正するように通板速度ＬＳを補

正する場合には、例えば下記２６式に基づいて当該補正される通板速度ＬＳを算出すればよい。

$$LS = LS + (\Delta C - \Delta C_0) \times d' \quad \cdots\cdots(26)$$

但し、

d'：定数

を示す。

前記ステップＳ１２では、前記ステップＳ６で設定された鋼中拡散モデルに従って鋼板表面より指定深さX_1のＣ濃度C'_1を算出する。

次にステップＳ１３に移行して、前記ステップＳ１で読込んだ鋼板表面より指定深さX_1の設定Ｃ濃度C_1と、前記ステップＳ１２で算出した鋼板表面より指定深さX_1のＣ濃度C'_1との差の絶対値が所定値ｅより小さいか否かを判定し、両者の差の絶対値が所定値ｅより小さい場合にはステップＳ１５に移行し、そうでない場合にはステップＳ１４に移行する。

前記ステップＳ１４では、前記浸炭濃度分布条件から設定される設定浸炭量を得るために雰囲気組成，通板速度，浸炭温度の各パラメータの何れか一つ以上を変更して、前記ステップＳ２に移行する。

前記ステップＳ１５では、上記演算の結果得られた雰囲気ガス成分の濃度、又は通板速度又は浸炭温度の各設定値を制御の目的に応じて出力すると共に、全浸炭量，平均浸炭量，鋼板表面からの浸炭分布等の演算結果を出力してプログラムを終了する。

なお、第６図のフローチャートにおいて、入力条件となっている雰囲気ガス流量は、前述したように雰囲気ガス中のCO_2及びH_2O濃度を変更するための制御量であり、制御因子としては炉内に投入する$CO+H_2$流量と同様に雰囲気ガス組成に含めて考えている。

本プログラムを用いて、工業的連続浸炭操業における通板条件が通板速度ＬＳ＝２００ｍｐｍ，板厚Ｄ＝０．７５ｍｍ，板幅Ｗ＝１４００ｍｍ，供給ガス量＝１０００Nm^3／ｈｒ時において、このプログラムによって算出された各浸炭温度における物質収支を考慮して求めたスーティングの発生限界を第７図に実線で示す。同図において破線は露点上限を示す。また一点鎖線は物質収支を考慮しな

いで求めたスーティングの発生限界を示す。そして同図において斜線を施した部分が実浸炭操業における操業範囲を表す。

同図から明らかなように物質収支を考慮して求めたスーティングの発生限界では、物質収支を考慮しないで求めたスーティングの発生限界に比してＣＯ濃度もH_2濃度も高くなる。即ち、その分だけ浸炭速度も向上する。一方、浸炭温度が高くなるほどスーティングの発生限界に伴うＣＯ濃度もH_2濃度も高くなる。このことは全体的な浸炭操業効率が温度にも依存することを意味するから、逆に通板速度を速くする場合には材質の許す範囲で炉内温度を高くする等の操業の余裕度が増すことになり、連続浸炭の実際における諸条件の設定範囲がより広がることになる。勿論、炉内の物質収支を考慮しないで求めたスーティングの発生限界に沿って操業範囲を設定してもスーティングは発生しないが、その分だけ操業の余裕度は減少し、諸条件の設定範囲は狭くなる。

また、このプログラムによって算出された各浸炭条件、即ち前記各制御量を変化させた場合の浸炭量と、実測された浸炭量との相関を第８図に示す。同図から明らかなように、浸炭量の計算値と実測値とは非常によく一致している。このことは、前記浸炭速度，即ち表面反応速度の設定と、その温度依存係数の設定が正しいことを意味しており、表面反応速度の設定が正しい限り、本実施例の連続浸炭方法は浸炭速度が拡散速度よりも大きい表面反応速度に従う領域での幅広い応用が可能であることを意味する。

更に本プログラムによって算出される浸炭量制御のための制御量の具体的演算例を第９図に基づいて説明する。

ここで例えば、ステップＳ１で読込まれた板厚諸元等の鋼板諸元から，第９図に明示するように前記ステップＳ２で所定（目標）浸炭量が設定され、同時に全板厚に対する許容範囲が設定された。また、前記ステップＳ１では鋼板の材質条件より目標浸炭温度が設定された。

従って、前記ステップＳ３及びステップＳ４でスーティングを防止する雰囲気ガス条件としてＣＯ濃度，H_2濃度が設定される。

この雰囲気ガス成分濃度の制御精度が実機において±０．３％であるとすると、前記前記ステップＳ３～ステップＳ１１のフローにおいて演算される前記１７式

～２３式によって第９図に明示するように、目標浸炭時間が設定され、同時に浸炭時間変動の許容範囲が設定される。

次に、浸炭帯炉長に対して、通板速度は、

通板速度＝浸炭帯炉長／浸炭時間

で表されるから、ステップＳ１２では目標通板速度及びその許容範囲が設定されて出力される。

このように浸炭量及び雰囲気ガス組成が設定された時点で前記ステップＳ１０，Ｓ１１のループでは浸炭時間（通板速度）が設定される。

以上のように本実施例では、浸炭速度が表面反応速度に律速される領域で、板諸元から設定される浸炭量を得るための浸炭諸条件を全体的な操業条件に鑑みながら最適条件に設定することができ、従来、経験に頼っていたこれらの制御を完全に自動化することが可能となった。

更に、浸炭処理以外の操業条件から通板速度が規制された場合、本プログラムによって算出される浸炭量制御のための制御量の具体的演算例を第１０図に基づいて説明する。

ここで例えば、ステップＳ１で読込まれた板厚諸元等の鋼板諸元から、前記ステップＳ２で所定（目標）浸炭量が設定される。また、前記ステップＳ１では鋼板の材質条件より目標浸炭温度が設定された。更に、前記ステップＳ１で読込まれた通板速度で、前記有効浸炭炉長を除して浸炭時間が算出される。

次いで、前記ステップＳ３及びステップＳ４でスーティングを防止する雰囲気ガス条件としてＣＯ濃度，H_2 濃度の上限が設定される。

これに対して前記ステップＳ３～Ｓ９のフローにおいて表面反応速度式，鋼中拡散モデル式が設定され、これらの式から前記目標浸炭量を達成するのに必要なＣＯ濃度，H_2 濃度，CO_2 濃度，H_2O 濃度が設定される。

従って、第１０図に示すように目標浸炭量が大きくなるか若しくは浸炭時間が短くなれば、例えば雰囲気ガス中のＣＯ濃度が大きくなるように雰囲気ガス組成を制御し、目標浸炭量が小さくなるか若しくは浸炭時間が長くなれば、例えば雰囲気ガス中のＣＯ濃度が小さくなるように雰囲気ガス組成を制御する。

なお、浸炭炉温において浸炭炉から排出される雰囲気ガス組成を制御する方法

としては、例えばＣＯ＋H_2濃度は浸炭炉に供給する雰囲気ガス流量中のＣＯ流量やH_2流量の比率を変化させればよく、CO_2やH_2Oの濃度は供給する雰囲気ガスの総流量を変化させればよい。

以上のように本実施例では、通板速度が予め規制された場合にも、板諸元から設定される浸炭量を得るための浸炭諸条件を全体的な操業条件に鑑みながら最適条件に設定することができ、従来，経験に頼っていたこれらの制御を完全に自動化することが可能となった。

次に、前記浸炭薄鋼板に所望される浸炭濃度分布を前記フィックの法則に基づく炭素拡散モデル式によって算出した演算例を第１１図～第１３図に基づいて説明する。前記第６図のアルゴリズムによればこの浸炭濃度分布を深さ方向に積分することによって単位面積当たりの浸炭量が設定され、この浸炭量を満足する制約条件下で、所望する浸炭濃度分布の形態から炭素拡散モデル式を設定し、深さ方向各点の目標値に対して許容範囲を設定して、当該炭素拡散モデル式から算出される浸炭濃度プロファイルがこの許容範囲内に納まるように、該モデル式のパラメータである浸炭温度と浸炭時間とを設定する。

ところで、第１１図に示す浸炭濃度分布形態では金属帯表面からの深さ凡そ１０～５０μｍで浸炭濃度のピークがあり、それより深い深さ２５０μｍまでの範囲では徐々に浸炭濃度は減少する。これは本来的に浸炭濃度が最も高い表層部の表面直近部位では、前記シール部や冷却の仮定において脱炭が進行してしまうためである。そこでこの浸炭濃度分布の形態と前記炭素拡散モデル式とを合致させるためには、前記表面からの深さ１０～２５０μｍの範囲の浸炭濃度分布の形態で２点以上の浸炭濃度を設定すればよく、好ましくは前記浸炭濃度のピーク点を捉えるために深さ１０～５０μｍの範囲で一点、１００～２５０μｍの範囲で一点以上の浸炭濃度を設定することが望まれる。ところが前述のように浸炭量が一定の場合には、表面反応速度や浸炭温度，浸炭時間等の諸条件が設定されている条件下で、浸炭濃度を一点だけ設定すれば前記炭素拡散モデル式は一意的に設定されることになる。

ここで、浸炭時間（処理時間，sec.）がt_1，t_2，t_3で，ＣＯ濃度（％）がa_1，a_2，a_3、H_2濃度（％）がb_1，b_2，b_3、浸炭温度がＴ（℃）

一定の浸炭条件下において、このモデル式によって得られる金属帯表面からの距離、即ち深さ（μm）と鋼中炭素濃度（浸炭濃度，ppm）との相関曲線及び実測値データを第11図に示す。但し、前記浸炭時間$t_1 = t_2 \neq t_3$であり、CO濃度$a_1 = a_3 \neq a_2$であり、H_2濃度$b_1 = b_2 = b_3$である。同第11図において浸炭濃度の実測はフッ酸に試片を入れてその表面から溶解させ、所定の溶解時間で溶解したC量とFe量との重量比から固溶炭素量を算出したが、浸炭濃度によって決まる（依存する）鋼の特定組織の深さを測定することにより推定してもよい。

次に、前記鋼中拡散モデル式における浸炭時間の影響を実験した結果を第12図に示す。同図では浸炭温度T℃一定、総浸炭量ΔCppm 一定の条件下で、CO濃度（%）がa_4、H_2濃度（%）がb_4、浸炭時間（処理時間，sec.）がt_4の雰囲気条件で浸炭を行った場合を実線で、CO濃度（%）がa_5、H_2濃度（%）がb_5、浸炭時間（処理時間，sec.）がt_5の雰囲気条件で浸炭を行った場合を破線で示す。但し、浸炭時間$t_5 \fallingdotseq 3t_4$，CO濃度$a_4 > a_5$，H_2濃度$b_4 \gg b_5$である。前述のようにCO濃度及びH_2濃度が高いほど浸炭反応速度が大きく、浸炭時間が長いほど内層部への浸炭量が大きくなる。従って同図から明らかなように、本実施例では、表層部のC濃度だけを高めて内層部のC濃度との勾配を急峻にする場合には、浸炭反応速度を大きくして（浸炭力を高めて）浸炭時間を短くすればよく、逆に、鋼板のC濃度全体を高めて内層部と表層部とのC濃度勾配を緩やかにする場合には、浸炭反応速度を小さくして（浸炭力を低めて）浸炭時間を長くすればよいことが分かる。

次に、浸炭工程後の板温制御、具体的には冷却速度の制御によって浸炭濃度分布を制御する実施例について第13図を用いて説明する。同図では浸炭温度T℃一定，浸炭時間t sec.一定，CO濃度a_6 %一定，H_2濃度b_6 %一定の条件下で、冷却速度ΔT_1 ℃／sec.で冷却した場合を実線で，冷却速度ΔT_2 ℃／sec.で冷却した場合を破線で示し、冷却速度$\Delta T_1 \ll \Delta T_2$である。同図から明らかなように冷却速度が大きいほど固溶Cの内部への拡散を速やかに抑止するため、表層部のC濃度だけが高くなって内層部のC濃度との勾配が急峻になる。逆に冷却速度が小さいほど固溶Cは内部に拡散してしまうので、表層部のC濃度は低く

且つ内層部とのC濃度勾配は緩やかになる。

なお、本実施例では浸炭帯で所定の浸炭処理を成されたストリップが第1冷却帯によって急冷されて炭素拡散が固定化される場合について詳述したが、本発明では浸炭後のストリップを加熱，均熱，冷却して炭素拡散状態を操作することが可能であり、そのために第1冷却帯に代えて／又は加えて板温制御帯を設けてもよい。

また、本実施例では前記第6図のアルゴリズムを用いて、材質条件から浸炭温度が設定され且つスーティングの発生限界からCO濃度並びにH_2濃度が予め設定された条件下で所定のC量を得るために浸炭時間（通板速度）を最終的に変更する場合、浸炭濃度分布条件から浸炭温度及び浸炭時間の上限が設定され且つスーティングの発生限界からCO濃度並びにH_2濃度の上限が予め設定された条件下で所定の鋼板厚さ方向への浸炭濃度分布及び浸炭量を得るために浸炭時間（通板速度）と雰囲気ガス組成とを最終的に変更する場合、浸炭処理以外の操業条件から設定された通板速度に基づいて浸炭時間が決定され且つ材質条件から浸炭温度が設定された条件下で所定のC量を得るために雰囲気ガス組成を最終的に変更する場合について詳述したが、これらを含めて前記各制御因子の制御例としては下記の夫々も考えられる。

1）雰囲気組成が一定のとき、浸炭温度，浸炭時間を個別に又は同時に変化させる。

2）浸炭温度が一定のとき、雰囲気組成のうちCO分圧又はH_2分圧又はCO＋H_2分圧，浸炭時間を個別に又は同時に変化させる。

3）浸炭時間が一定のとき、雰囲気組成のうちCO分圧又はH_2分圧又はCO＋H_2分圧，浸炭温度を個別に又は同時に変化させる。

4）全ての制御因子を同時に又は個別に変化させる。

これらの制御因子の取捨選択方法はいずれかに限定されるものではなく、種々の与えられた条件下でいずれの場合にも全て展開可能である。

また、本実施例では表面反応においてCO，H_2，CO_2及びH_2Oの影響のみを考慮して表面反応速度を算出する場合について詳述したが、前述したようにその他の雰囲気ガス組成、例えば重炭化水素の影響を考慮して表面反応速度を算

出するようにしてもよい。

また、本実施例では物質収支を考慮した熱力学モデル式を線形化し、その解を収束することによって平衡状態を算出することとしたが、この平衡状態の算出手段はこれに限定されるものではない。

また、本実施例では特に前記表面反応律速域において極低炭素鋼からなるストリップを連続焼鈍・浸炭する場合についてのみ詳述したが、それ以外の浸炭反応律速域においても、また浸炭のみを必要とする場合においても、或いはその他の金属帯についても展開可能である。

請求の範囲

1. 金属帯を連続的に浸炭炉に通板して浸炭するに際して、浸炭炉内に供給される浸炭ガスと、金属帯に固定されて持出される炭素との、浸炭炉内における物質収支に基づいて、スーティングが生じない雰囲気ガス組成又は炉内温度に当該浸炭炉内の雰囲気ガス組成又は炉内温度を制御することを特徴とする金属帯の連続浸炭方法。

2. 金属帯表層部の炭素濃度が、当該金属帯と雰囲気ガスとの間で平衡する濃度以下の領域で前記雰囲気ガス組成又は炉内温度若しくはそれら双方を制御することを特徴とする請求項1に記載の金属帯の連続浸炭方法。

3. 浸炭炉内に通板される金属帯を連続的に浸炭する場合に、少なくとも炭素、酸素、窒素又は炭素、酸素、水素、窒素の元素を含み且つスーティングが生じない雰囲気ガス組成又は炉内温度を制御するにあたって、前記浸炭炉内の各元素の物質収支に基づいて、炉内雰囲気全体のギブス自由エネルギーが最小となる状態を求めることにより当該炉内雰囲気の平衡状態を求めるようにした熱力学モデル式に基づいて、前記雰囲気ガス組成又は炉内温度の制御量を算出することを特徴とする金属帯の連続浸炭方法。

4. 前記雰囲気ガス組成及び炉内温度の条件として、炉内温度が700～950℃、一酸化炭素濃度が0％＜CO濃度≦22％、水素濃度が0％≦H_2濃度≦30％の条件が適用されることを特徴とする請求項3に記載の金属帯の連続浸炭方法。

5. 金属帯を浸炭炉内に通板して連続的にガス浸炭するに際して、金属帯温度、雰囲気ガス組成及び浸炭時間を制御量として用い、これらの制御量を制御して浸炭時の金属帯表層部の炭素濃度が金属帯と雰囲気ガスとの間における平衡濃度以下で、且つ該表層部の浸炭速度が表層部から内部への拡散速度よりも大きい反応領域で浸炭処理を行うことを特徴とする金属帯の連続浸炭方法。

6. 前記各制御量を制御するにあたって、金属帯温度と一酸化炭素分圧、或いは金属帯温度と一酸化炭素分圧及び水素分圧をパラメータとする浸炭反応速度予測式と、浸炭時間によって決まる浸炭量の予測式とを予め設定し、これらの予測式の何れか又は組み合わせに基づいて各制御量を設定することを特徴とする請求

項5に記載の金属帯の連続浸炭方法。

7． 前記予測式中の制御量に、二酸化炭素分圧及び／又はH_2O分圧を加えて浸炭量を制御することを特徴とする請求項6に記載の金属帯の連続浸炭方法。

8． 金属帯を浸炭炉内に通板して連続的にガス浸炭するに際して、金属帯温度及び／又は雰囲気ガス組成を制御量として用い、浸炭処理以外の操業条件によって規制された通板速度から決まる浸炭時間に対して、目標とする浸炭量を得るために予め設定された予測式に基づいて、雰囲気ガス組成及び／又は金属帯温度の制御量を設定することを特徴とする請求項6又は7に記載の金属帯の連続浸炭方法。

9． 請求項8に記載される金属帯の連続浸炭方法において、規制された通板速度の範囲内で、浸炭時間をパラメータとして加えることを特徴とする金属帯の連続浸炭方法。

10．金属帯を浸炭炉内に通板して連続的にガス浸炭するに際して、金属帯温度、雰囲気ガス組成及び浸炭時間を制御量として用い、所望する板厚方向の浸炭濃度分布形態に対して、予め設定されたフィックの法則に基づく金属帯板厚方向の炭素拡散モデル式に基づいて前記各制御量を設定することを特徴とする金属帯の連続浸炭方法。

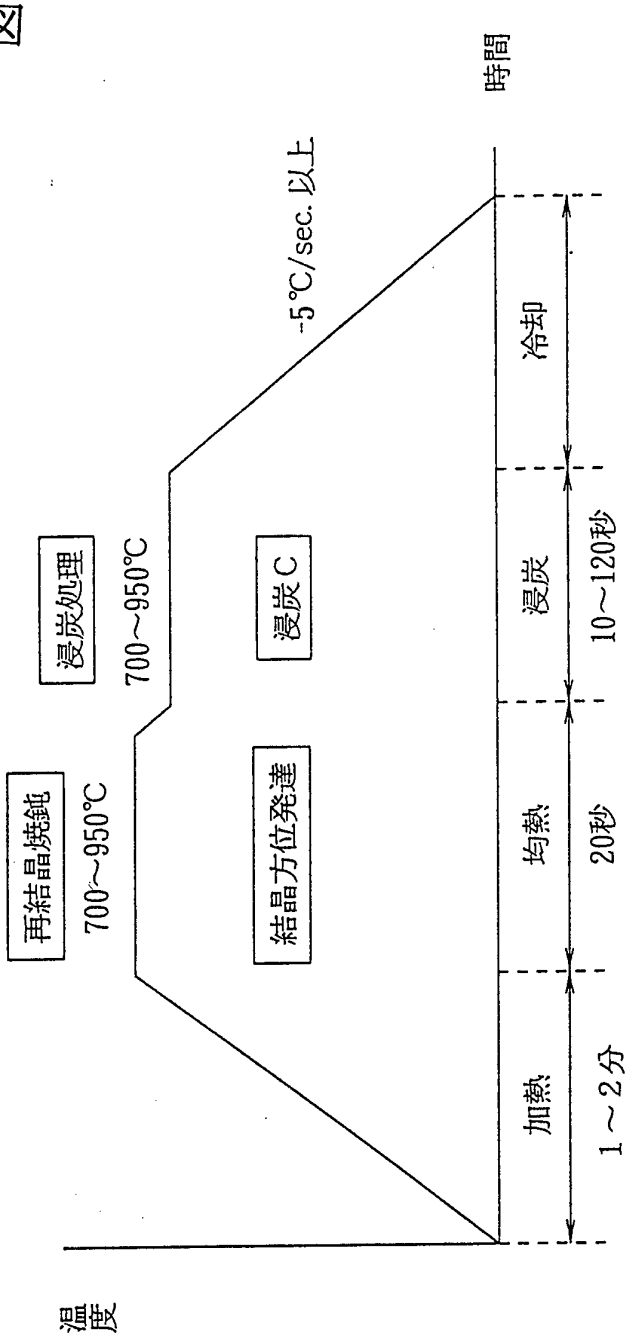
11．請求項10に記載される金属帯の連続浸炭方法において、金属帯温度と一酸化炭素分圧と浸炭時間、或いは金属帯温度と一酸化炭素分圧及び水素分圧と浸炭時間とをパラメータとして用いることを特徴とする金属帯の連続浸炭方法。

12．前記制御量に、二酸化炭素分圧及びH_2O分圧をパラメータとして加えることを特徴とする請求項11に記載の金属帯の連続浸炭方法。

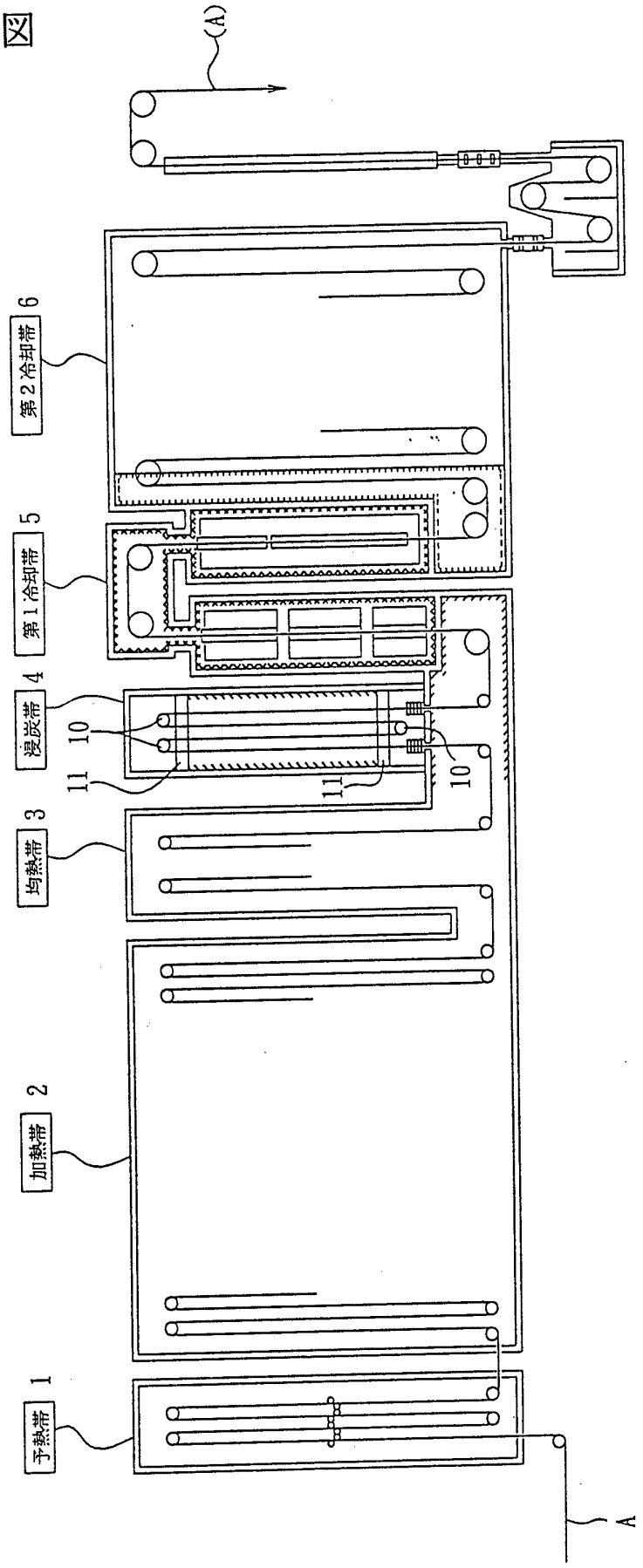
13．前記浸炭濃度分布形態は、金属帯表層部の深さ10～250μmの範囲の1点以上の浸炭濃度又は浸炭濃度によって決まる金属の組織形態を目標に設定することを特徴とする請求項10乃至12に記載の金属帯の連続浸炭方法。

14．前記ガス浸炭の後に金属帯の板厚方向の浸炭濃度分布形態を制御する金属帯の温度制御を行うことを特徴とする請求項10乃至13に記載の金属帯の連続浸炭方法。

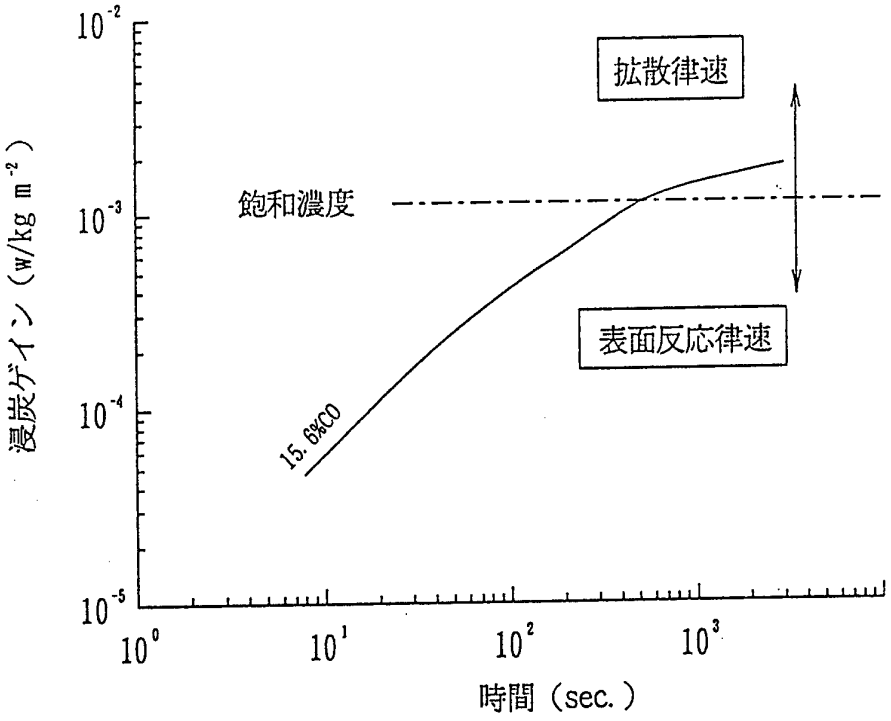
第1図


温度
時間
再結晶焼鈍
700～950℃
浸炭処理
700～950℃
-5℃/sec. 以上
結晶方位発達
浸炭C
加熱
1～2分
均熱
20秒
浸炭
10～120秒
冷却

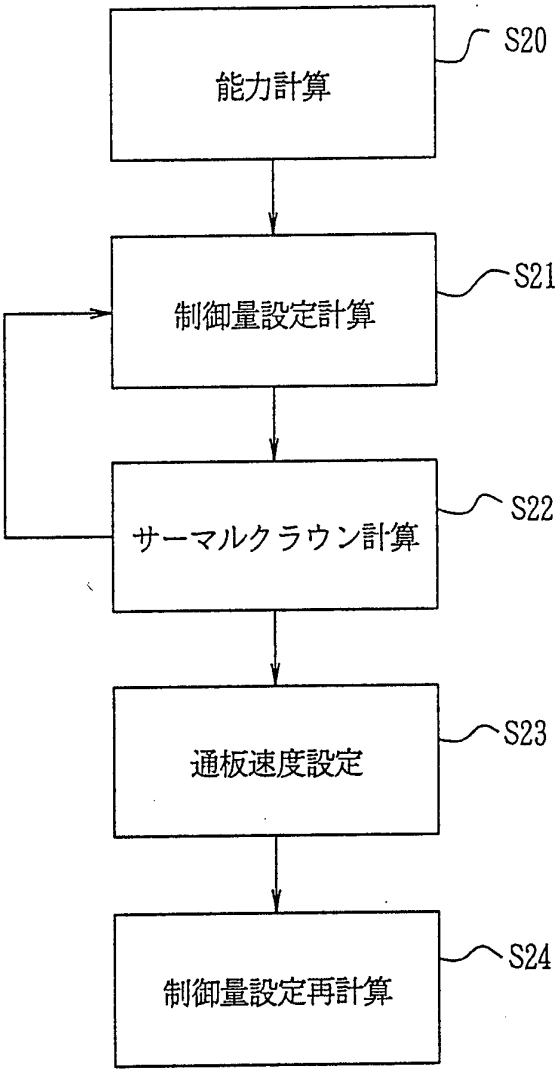
第2図



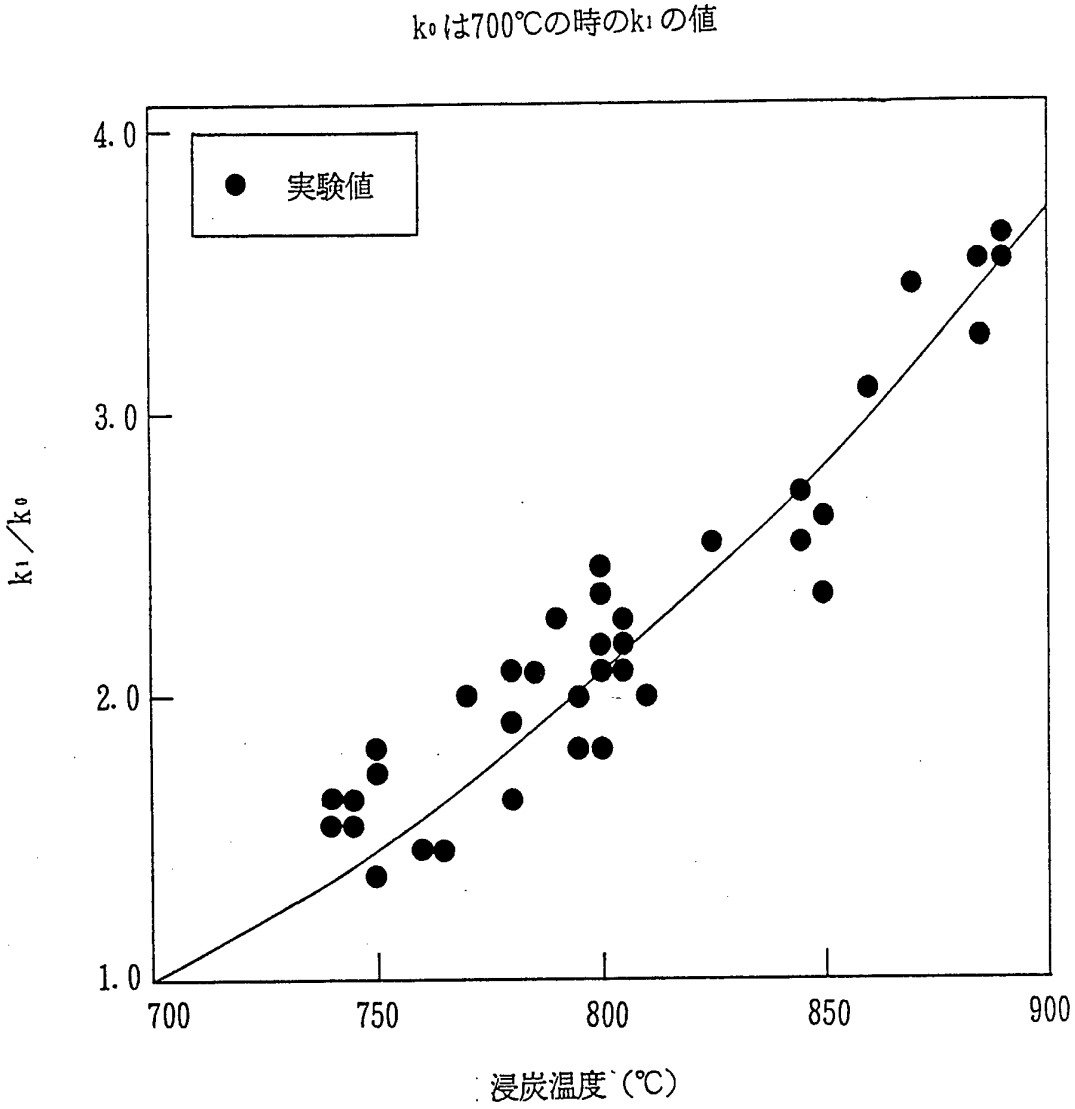
第3図


10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
浸炭ゲイン（w/kg m^{-2}）
拡散律速
飽和濃度
表面反応律速
15.6%CO
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
時間（sec.）

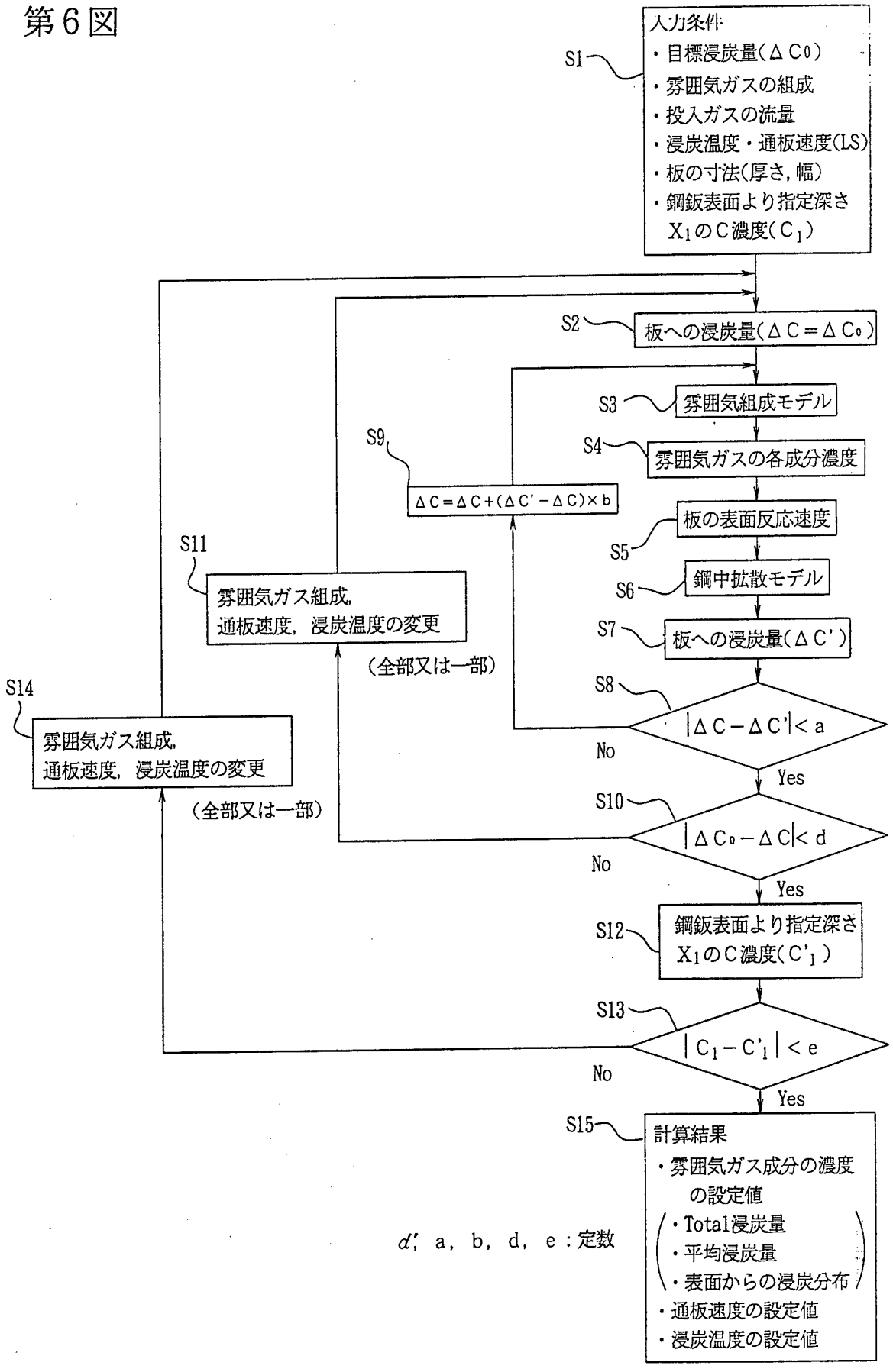
第4図


能力計算
S20
制御量設定計算
S21
サーマルクラウン計算
S22
通板速度設定
S23
制御量設定再計算
S24

第5図

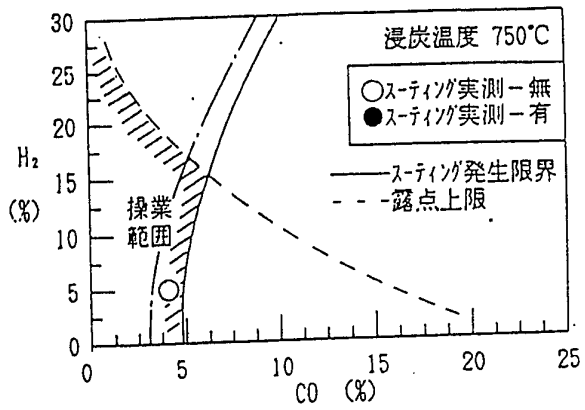


第6図

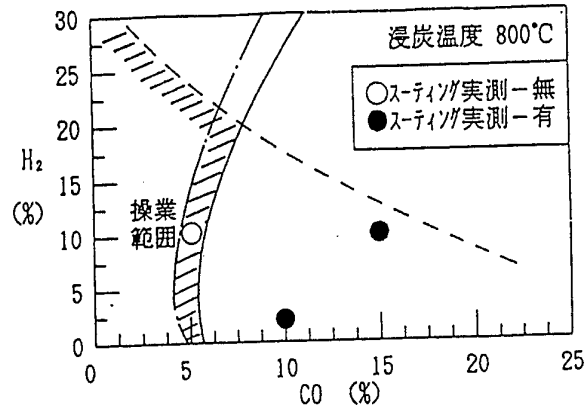

S1
入力条件
・目標浸炭量(ΔC0)
・雰囲気ガスの組成
・投入ガスの流量
・浸炭温度・通板速度(LS)
・板の寸法(厚さ,幅)
・鋼鈑表面より指定深さ X1のC濃度(C1)
S2
板への浸炭量(ΔC=ΔC0)
S3
雰囲気組成モデル
S4
雰囲気ガスの各成分濃度
S5
板の表面反応速度
S6
鋼中拡散モデル
S7
板への浸炭量(ΔC')
S8
|ΔC−ΔC'|< a
No
Yes
S9
ΔC=ΔC+(ΔC'−ΔC)×b
S10
|ΔC0−ΔC|< d
No
Yes
S11
雰囲気ガス組成,
通板速度, 浸炭温度の変更
(全部又は一部)
S12
鋼鈑表面より指定深さ X1のC濃度(C'1)
S13
|C1−C'1| < e
No
Yes
S14
雰囲気ガス組成,
通板速度, 浸炭温度の変更
(全部又は一部)
S15
計算結果
・雰囲気ガス成分の濃度の設定値
・Total浸炭量
・平均浸炭量
・表面からの浸炭分布
・通板速度の設定値
・浸炭温度の設定値
d', a, b, d, e : 定数

第7図

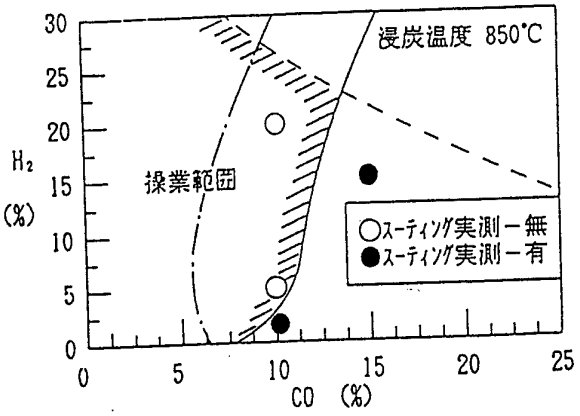
(a)


浸炭温度 750°C
○スーティング実測－無
●スーティング実測－有
スーティング発生限界
露点上限
操業範囲
H₂ (%)
CO (%)

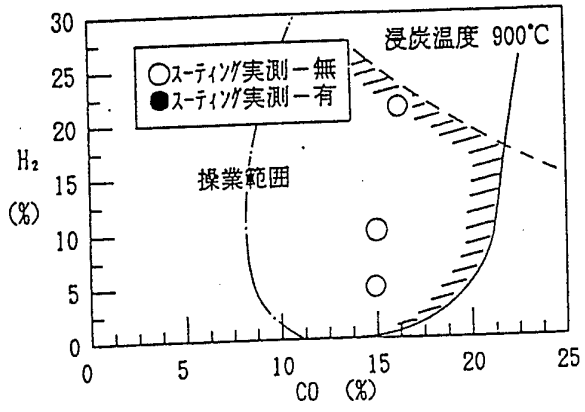
(b)


浸炭温度 800°C
○スーティング実測－無
●スーティング実測－有
操業範囲
H₂ (%)
CO (%)

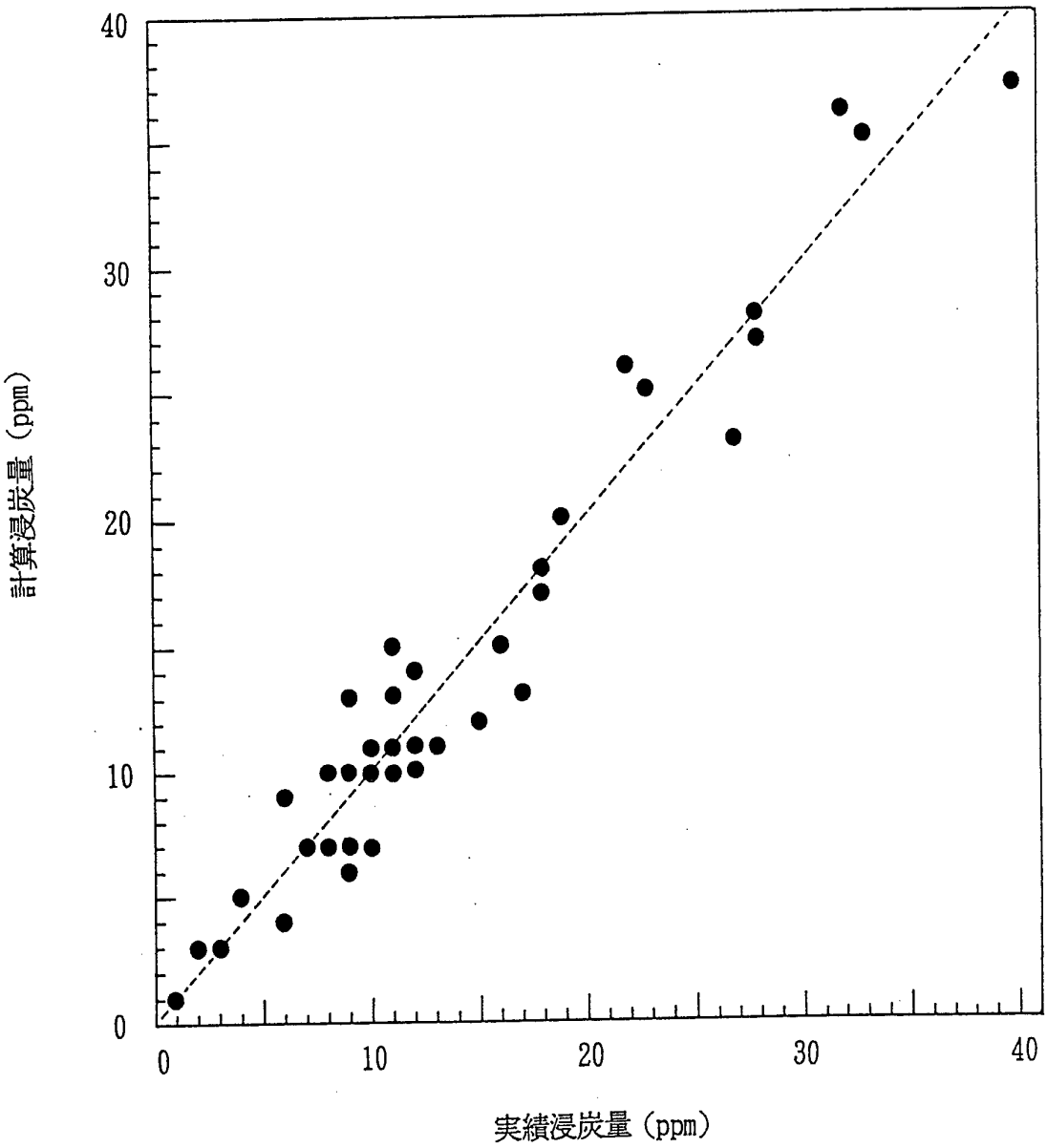
(c)


浸炭温度 850°C
○スーティング実測－無
●スーティング実測－有
操業範囲
H₂ (%)
CO (%)

(d)

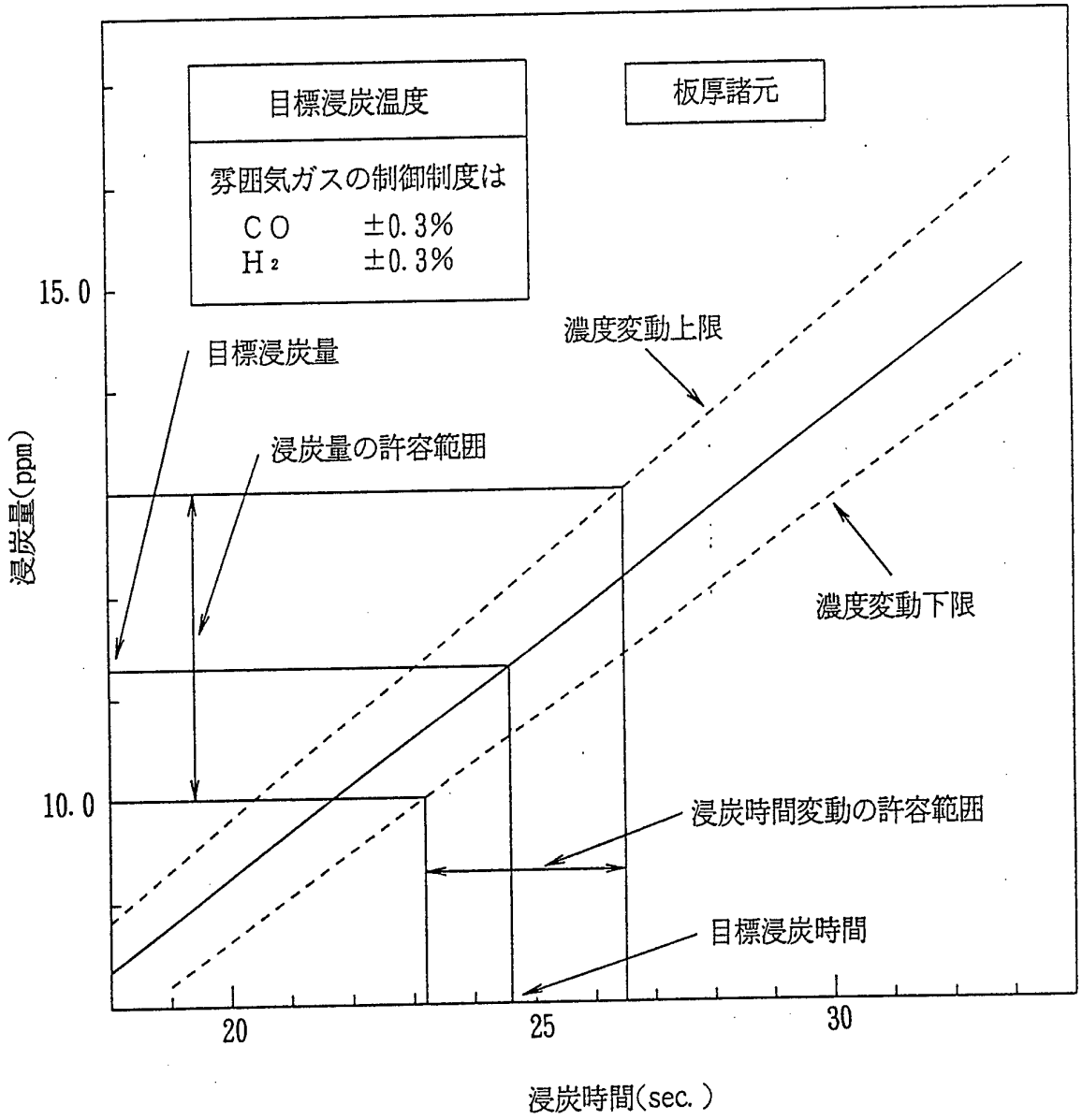

浸炭温度 900°C
○スーティング実測－無
●スーティング実測－有
操業範囲
H₂ (%)
CO (%)

第8図

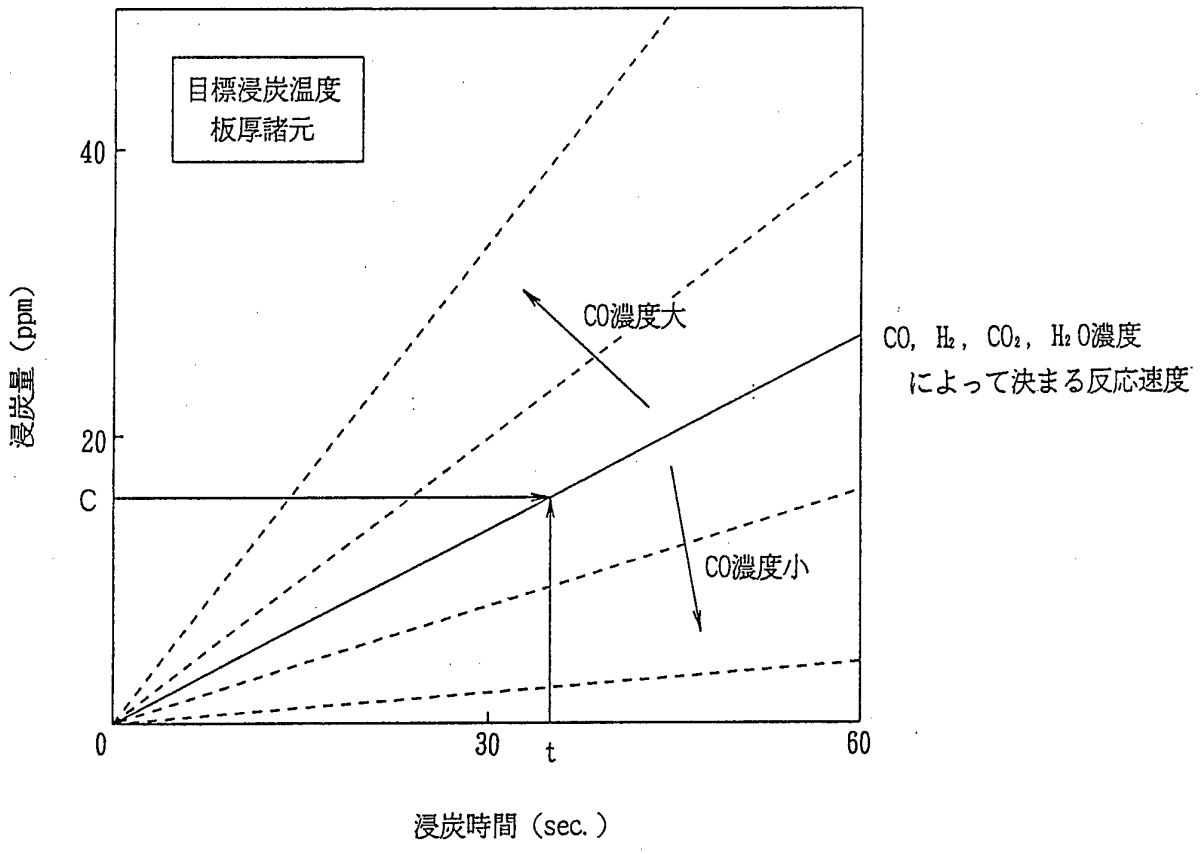


第9図

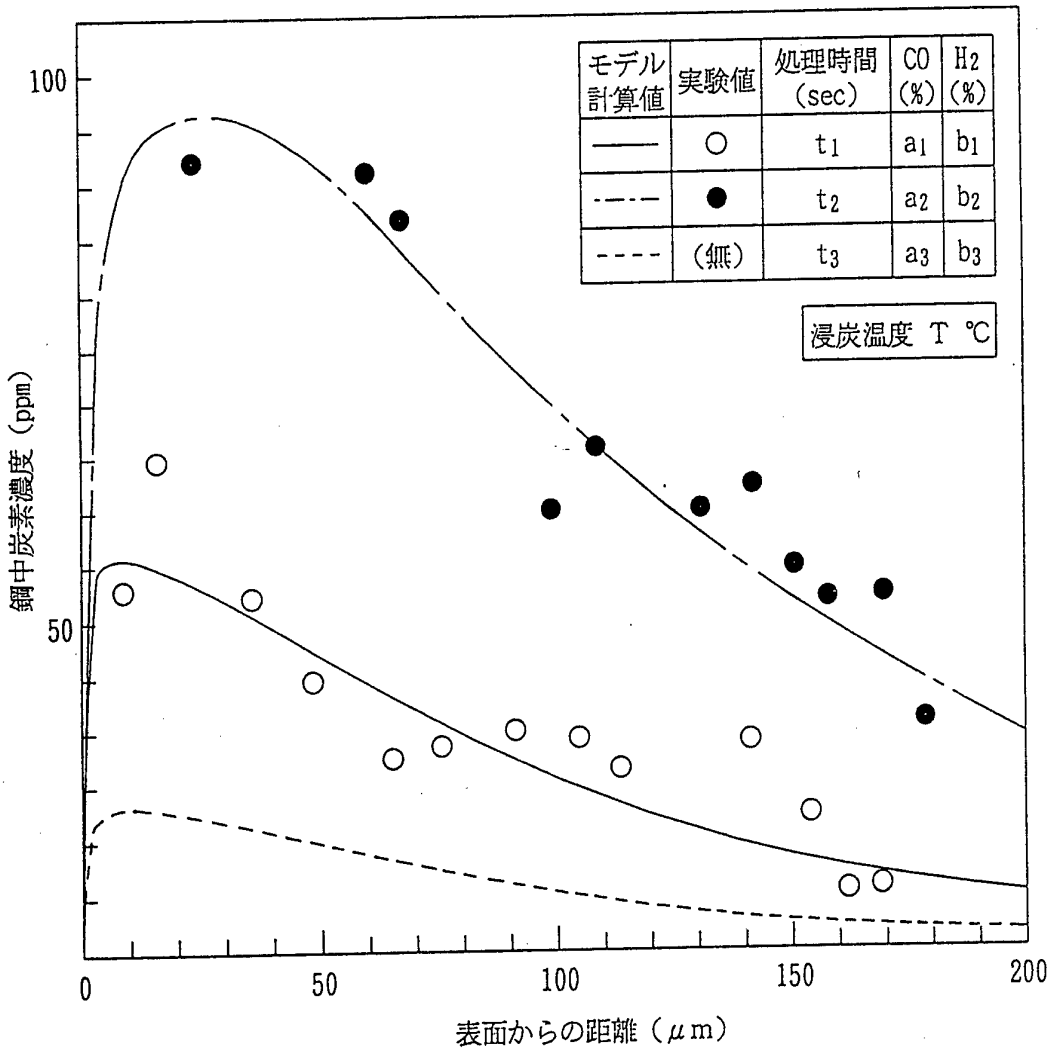
通板速度＝浸炭帯炉長／浸炭時間



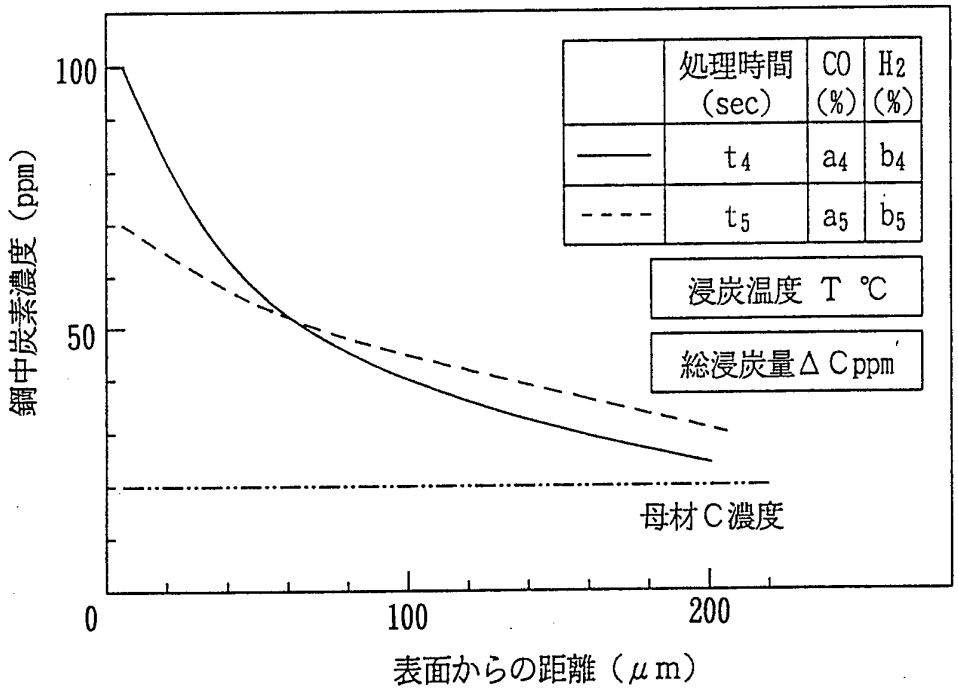
第１０図


目標浸炭温度
板厚諸元
40
20
C
0
30
t
60
浸炭量（ppm）
浸炭時間（sec.）
CO濃度大
CO濃度小
CO, H₂, CO₂, H₂O濃度
によって決まる反応速度

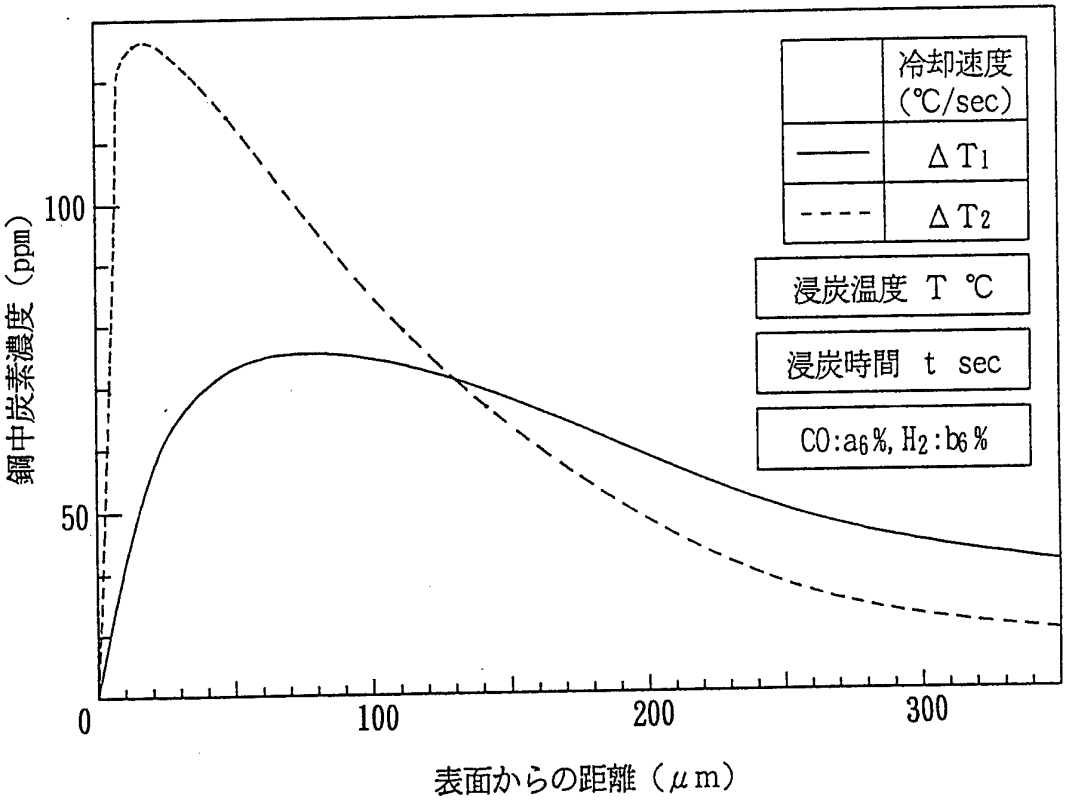
第１１図


モデル計算値
実験値
処理時間（sec）
CO（%）
H2（%）
t1
a1
b1
t2
a2
b2
（無）
t3
a3
b3
浸炭温度 T ℃
鋼中炭素濃度（ppm）
100
50
0
50
100
150
200
表面からの距離（μm）

第１２図


100
50
0
100
200
鋼中炭素濃度（ppm）
表面からの距離（μm）
処理時間 (sec)
CO (%)
H2 (%)
t4
a4
b4
t5
a5
b5
浸炭温度 T ℃
総浸炭量Δ Cppm
母材Ｃ濃度

第１３図


冷却速度
(℃/sec)
ΔT1
ΔT2
浸炭温度 T ℃
浸炭時間 t sec
CO:a6%, H2:b6%
鋼中炭素濃度（ppm）
100
50
0
100
200
300
表面からの距離（μm）

第１４図

モデル予測値と実験値

		組成 (%)			露点 (℃)
		CO	H_2	CO_2	
ケース１	ﾓﾃﾞﾙ 予測値	3.91	3.20	10.70	48.0
	実験値	3.95	3.02	10.67	48.2
ケース２	ﾓﾃﾞﾙ 予測値	3.38	3.53	8.79	51.0
	実験値	3.39	3.40	8.79	50.1

〈実験条件〉

処理温度　930 ℃

CO_2 (100%CO_2) ・・・ 0.5～1.1 (NL/min)

H_2 (50%H_2) ・・・ 2.0～2.1 (NL/min)

N_2 * (100%N_2) ・・・ 4.5～5.5 (NL/min)

＊N_2 はシールからのリーク量を意味する。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP93/01486

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl^5 C23C8/22

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)

Int. Cl^5 C23C8/22, C23C8/06, C23C10/06

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

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.
A	JP, A, 4-202650 (Kawasaki Steel Corp.), July 23, 1992 (23. 07. 92)	1, 3, 5, 10
A	JP, A, 4-202648 (Kawasaki Steel Corp.), July 23, 1992 (23. 07. 92)	1, 3, 5, 10
A	JP, A, 4-198462 (Komatsu Ltd.), July 17, 1992 (17. 07. 92)	1, 3, 5, 10
A	JP, A, 1-176065 (Tokyo Netsu Shori Kogyo K.K.), July 12, 1989 (12. 07. 89), (Family: none)	5
A	JP, A, 58-144469 (Aishin Seiki Co., Ltd., Yushin Keiki K.K.), August 27, 1983 (27. 08. 83), (Family: none)	10

[X] 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 document 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
December 9, 1993 (09. 12. 93)	January 11, 1994 (11. 01. 94)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP 93/01486

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. Cl[5] C23C8/22

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（IPC））

Int. Cl[5] C23C8/22, C23C8/06, C23C10/06

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

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	関連する請求の範囲の番号
A	JP, A, 4-202650（川崎製鉄株式会社）, 23. 7月. 1992（23. 07. 92）	1,3,5,10
A	JP, A, 4-202648（川崎製鉄株式会社）, 23. 7月. 1992（23. 07. 92）	1,3,5,10
A	JP, A, 4-198462（株式会社 小松製作所）, 17. 7月. 1992（17. 07. 92）	1,3,5,10

☑ 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」先行文献ではあるが、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の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
09. 12. 93

国際調査報告の発送日
11.01.94

名称及びあて先
日本国特許庁（ISA/JP）
郵便番号100
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）
奥井正樹 印
4K7516

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

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	関連する請求の範囲の番号
A	JP，A，1－176065（東京熱処理工業株式会社），12．7月．1989（12．07．89）（ファミリーなし）	5
A	JP，A，58－144469（アイシン精機株式会社，有信計器株式会社），27．8月．1983（27．08．83）（ファミリーなし）	10