

(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2010-38759

(P2010-38759A)

(43) 公開日 平成22年2月18日(2010.2.18)

(51) Int.Cl.
G 0 1 N 21/892 (2006.01)F I
G O 1 N 21/892テーマコード (参考)
2 G O 5 1

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2008-202992 (P2008-202992)
(22) 出願日 平成20年8月6日 (2008.8.6)(71) 出願人 000002118
住友金属工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
(74) 代理人 100108800
弁理士 星野 哲郎
(74) 代理人 100101203
弁理士 山下 昭彦
(74) 代理人 100104499
弁理士 岸本 達人
(72) 発明者 中田 武男
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
住友金属工業株式会社内
(72) 発明者 本田 達朗
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
住友金属工業株式会社内

最終頁に続く

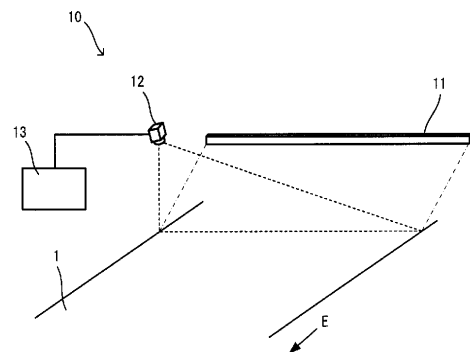
(54) 【発明の名称】 表面欠陥の検査方法、表面欠陥検査装置、鋼板の製造方法、及び鋼板の製造装置

(57) 【要約】

【課題】表面欠陥の検査に際し、目視による検査結果に近い結果を得ることができる表面欠陥の検査方法、検査装置、鋼板の製造方法、及び製造装置を提供する。

【解決手段】被検査面に照明を投光し、被検査面を撮像することにより該被検査面の表面欠陥を検査する方法であって、撮像により得られた画像を縦横に並列される複数の画素に分割し、全ての画素のそれぞれについて色差を算出することにより表面欠陥の検出するものであり、色差は、対象画素を含む領域の明度、及び該対象画素から所定距離離隔した領域の明度からのみ算出される色差であることを特徴とする。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被検査面に照明を投光し、前記被検査面を撮像することにより該被検査面の表面欠陥を検査する方法であって、

前記撮像により得られた画像を縦横に並列される複数の画素に分割し、
全ての前記画素のそれぞれについて色差を算出することにより表面欠陥の検出するものであり、

前記色差は、対象画素を含む領域の明度、及び該対象画素から所定距離離隔した領域の明度のみから算出される色差であることを特徴とする表面欠陥の検査方法。

【請求項 2】

前記所定距離が 1 . 1 0 m m ~ 2 . 9 2 m m であることを特徴とする請求項 1 に記載の表面欠陥の検査方法。

【請求項 3】

所定の色差以上を有する前記画素を抽出し、前記抽出された画素の色差の n 乗和を算出し、該 n 乗和の大きさと目視検査により得られる表面欠陥の有害度との相関関係に基づいて表面欠陥の有害度を自動的に決定することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の表面欠陥の検査方法。

【請求項 4】

前記色差から選択される 1 つの色差を閾値として 2 値化した画像により表面欠陥の形状を得て、前記表面欠陥の種類の弁別をすることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の表面欠陥の検査方法。

【請求項 5】

鋼板を製造する方法であって、

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の表面欠陥の検査方法により鋼板表面を検査する検査工程を含み、

前記検査工程は、前記鋼板表面に照明を投光して撮像し、前記撮像により得られた画像を縦横に並列される複数の画素に分割するとともに、全ての前記画素のそれぞれについて明度のみから色差を算出する工程を有することを特徴とする鋼板の製造方法。

【請求項 6】

表面欠陥を検査する表面欠陥検査装置であって、

被検査面を照明する照明手段と、

前記照明手段により照らし出された被検査面を撮像し、得られた画像を縦横に並列される複数の画素に分割する撮像手段と、

全ての前記画素について色差を算出する演算処理手段と、を備え、

前記演算処理手段では、対象画素を含む領域の明度、及び該対象画素から所定距離離隔した領域の明度のみから色差を算出することを特徴とする表面欠陥検査装置。

【請求項 7】

前記所定距離が 1 . 1 0 m m ~ 2 . 9 2 m m であることを特徴とする請求項 6 に記載の表面欠陥検査装置。

【請求項 8】

前記演算処理手段は、所定の色差以上を有する画素を抽出し、抽出された画素の色差の n 乗和を算出し、該 n 乗和の大きさと、目視検査により得られる表面欠陥の有害度との間の相関関係に基づいて、表面欠陥の有害度を自動的に決定して出力することを特徴とする請求項 6 又は 7 に記載の表面欠陥検査装置。

【請求項 9】

前記演算処理手段は、前記色差から選択される 1 つの色差を閾値として 2 値化した画像により表面欠陥の形状を得て、前記表面欠陥の種類の弁別をして出力することを特徴とする請求項 6 ~ 8 のいずれか一項に記載の表面欠陥検査装置。

【請求項 10】

鋼板の製造装置であって、

10

20

30

40

50

請求項 6 ～ 9 のいずれか一項に記載の表面欠陥検査装置を備え、前記被検査面が鋼板の表面であることを特徴とする鋼板の製造装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理により表面欠陥を検査する方法、及びその装置に関する。詳しくは目視による検査結果を得ることができる表面欠陥の検査方法及び表面検査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

金属材料の表面に発生する欠陥や不必要な模様（以下、「表面欠陥」と記載する。）は、品質保証の観点から、製造工程（検査工程を含む。）で検出し、除去又はトラッキングをする必要がある。多くの場合、このような表面欠陥は、検査者の目視によって行われる。検査者による表面欠陥の検査は、個人差や時間、場所等の検査環境により検査結果に幅があるという問題がある一方で、装置では検査をすることができない表面欠陥を一定以上の割合で検査することができるという利点を有していた。

10

【0003】

従来、表面欠陥を検出する検査装置として、照明、カメラ、画像処理を用いたものが提案されている。これらはいずれも、カメラにて被検査体を撮影し、取込まれた画像に対して画像処理を実行し、予め導出していた欠陥部と正常部との特徴差（面積、長さ等）を比較し、欠陥のみを抽出するというものである。そして表面欠陥の検出精度を向上させるために工夫がされているものもある。

20

【0004】

例えば、特許文献 1、2 には、カラーカメラにより 3 種（R、G、B）の波長の情報を受光し、その強度分布の変化から模様状のキズを検出する技術が提案されている。この技術によれば、受光した 3 種の波長強度の増減から鋼板表面に生じる模様状のキズ、特に色の変化が著しい模様について検査可能となる。

【0005】

また、特許文献 3 には、カラーカメラにより 3 種の波長の情報を受光し、信号を均等空間座標（L、a、b 座標系等）へ変換することで、人間の目視感覚に近づけることを特徴とする発明が開示されている。当該特許文献 3 では、色相と彩度を主要に用いて鋼板検査を行っており、これによれば必要とする情報量が多く、量産設備への適用に際してはより早く情報を処理して適切な結果を得る必要があった。

30

【特許文献 1】特許第 2 6 9 8 6 9 6 号公報

【特許文献 2】特許第 2 6 9 8 6 9 7 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 5 - 2 3 3 8 2 6 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

表面欠陥は製品の外観に影響を与えるものであり、人間による適正な目視評価結果と、装置による検査結果とができるだけ近いことが要求される。かかる観点から特許文献 1 ～ 3 を含む従来技術よりも改善された検査方法が望まれていた。

40

【0007】

そこで本発明は、上記問題点に鑑み、表面欠陥の検査に際し、目視による検査結果に近い結果を得ることができる表面欠陥の検査方法、検査装置、鋼板の製造方法及び製造装置を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

発明者らは、鋭意検討の結果以下の知見を得て本発明を完成させた。すなわち、表面欠陥のうち特に正常部と異常部との差異が小さく、それ故に低コントラストとなる表面欠陥は、目視でも判別することが難しいが、適切に欠陥の検出及び判別を行うことで目視での

50

判別が可能となる場合が少なくない。そしてこれを装置で行う場合であっても、目視検査と同等の検査結果を得なければならない。ここで目視検査能力には、キズを検出する能力、キズを判定する能力、及びキズを弁別する能力があり、また検査員の熟練度の影響もある。目視検査の判断基準を考慮するときには、複数の熟練度の高い検査員の検査能力の平均としたり、熟練度の別なく複数の検査員の検査能力の平均としたりする場合もあった。そこで、装置により検査を行う場合において目視と同等の感度を有するには、上記のような現状の目視検査の判断基準を再検討した結果、鋼板に限らず従来の模様検査、疵検査では、明度、彩度、色相全てを用いることが一般的であるが、色差の変化を基準とすることが好ましく、明度の変化を基準とすることがさらに好ましいとの知見を得た。そこでこれを定量的に取り扱う装置による検査を検討した。以下、本発明について説明する。なお、

10

【0009】

請求項1に記載の発明は、被検査面に照明を投光し、被検査面を撮像することにより該被検査面の表面欠陥を検査する方法であって、撮像により得られた画像を縦横に並列される複数の画素に分割し、全ての画素のそれぞれについて色差を算出することにより表面欠陥の検出するものであり、色差は、対象画素を含む領域の明度、及び該対象画素から所定距離離隔した領域の明度のみから算出される色差であることを特徴とする表面欠陥の検査方法を提供することにより前記課題を解決する。

20

【0010】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の表面欠陥の検査方法において、所定距離が1.10mm～2.92mmであることを特徴とする。

【0011】

請求項3に記載の発明は、請求項1又は2に記載の表面欠陥の検査方法において、所定の色差以上を有する画素を抽出し、抽出された画素の色差のn乗和を算出し、該n乗和の大きさと目視検査により得られる表面欠陥の有害度との相関関係に基づいて表面欠陥の有害度を自動的に決定することを特徴とする。

【0012】

請求項4に記載の発明は、請求項1～3のいずれか一項に記載の表面欠陥の検査方法において、色差から選択される1つの色差を閾値として2値化した画像により表面欠陥の形状を得て、表面欠陥の種類の弁別をすることを特徴とする。

30

【0013】

請求項5に記載の発明は、鋼板を製造する方法であって、請求項1～4のいずれか一項に記載の表面欠陥の検査方法により鋼板表面を検査する検査工程を含み、検査工程は、鋼板表面に照明を投光して撮像し、撮像により得られた画像を縦横に並列される複数の画素に分割するとともに、全ての画素のそれぞれについて明度のみから色差を算出する工程を有することを特徴とする鋼板の製造方法を提供することにより前記課題を解決する。

【0014】

請求項6に記載の発明は、表面欠陥を検査する表面欠陥検査装置であって、被検査面を照明する照明手段と、照明手段により照らし出された被検査面を撮像し、得られた画像を縦横に並列される複数の画素に分割する撮像手段と、全ての画素について色差を算出する演算処理手段と、を備え、演算処理手段では、対象画素を含む領域の明度、及び該対象画素から所定距離離隔した領域の明度のみから色差を算出することを特徴とする表面欠陥検査装置を提供することにより前記課題を解決する。

40

【0015】

請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の表面欠陥検査装置において、所定距離が1.10mm～2.92mmであることを特徴とする。

【0016】

請求項8に記載の発明は、請求項6又は7に記載の表面欠陥検査装置において、演算処理手段は、所定の色差以上を有する画素を抽出し、抽出された画素の色差のn乗和を算出

50

し、該 n 乗和の大きさと、目視検査により得られる表面欠陥の有害度との間の相関関係に基づいて、表面欠陥の有害度を自動的に決定して出力することを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

請求項 9 に記載の発明は、請求項 6 ~ 8 のいずれか一項に記載の表面欠陥検査装置において、演算処理手段は、色差から選択される 1 つの色差を閾値として 2 値化した画像により表面欠陥の形状を得て、表面欠陥の種類の弁別をして出力することを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

請求項 10 に記載の発明は、鋼板の製造装置であって、請求項 6 ~ 9 のいずれか一項に記載の表面欠陥検査装置を備え、被検査面が鋼板の表面であることを特徴とする鋼板の製造装置を提供することにより前記課題を解決する。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 9 】

本発明によれば、表面欠陥の検査に際し、目視による検査結果に近い結果を得ることができる表面欠陥の検査方法及び表面欠陥検査装置を提供することができる。

【 0 0 2 0 】

本発明のこのような作用及び利得は、次に説明する発明を実施するための最良の形態から明らかにされる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 1 】

以下本発明を実施形態に基づき説明する。

【 0 0 2 2 】

本実施形態では、表面欠陥のうち、メッキ鋼板上に発生することがある「スジムラ」の検査を例に説明する。「スジムラ」とは、圧延方向を長手方向とする細長い模様として現れるムラ状の欠陥である。当該「スジムラ」は上記ムラ状の表面欠陥の総称であり、他にも例えば「ムラ」「めっきムラ」「スジ」「スジ状模様」及び「スジ模様」等と称されることもある。

【 0 0 2 3 】

また、スジムラにもその形態や濃淡の観点からいくつかに分類することができる。形態の観点からは大きくは、「長スジ」、「短スジ」、「大ムラ」、及び「小ムラ」に分類することができる。「長スジ」は圧延方向の長さが細長く、その面積も大きいスジムラを意味し、「大ムラ」は長スジよりは短い、幅方向に大きく、比較的面積が大きいスジムラを示している。「短スジ」は大ムラと同程度の長さではあるが、細長く、面積が小さいスジムラを表し、「小ムラ」は、圧延方向の長さ、及びその幅、面積ともに上記 3 つの場合よりも小さいスジムラである。

また、同時にスジムラと正常部との濃淡によっても分類され、形状及び濃淡の組み合わせにより判断がされる。すなわちスジムラの有害度の観点からみると、例え大ムラであっても濃淡の程度が小さければ有害度は低くなり、小ムラであっても濃淡の程度が大きければ有害度は高くなる。目視検査ではこれらの事項を検査者が総合的に判断して検査が行われており、装置による検査も当該検査者の目視による検査結果に沿った結果を得ることができなければならない。

【 0 0 2 4 】

ところが、スジムラは他の表面欠陥に比べて検出が困難であり、上記した従来の検査装置、検査方法では目視検査により得られる検査結果と同等の結果を得ることができなかった。すなわち、従来のキズは、正常部に対して十分小さく、突発的であるため、信号強度の変化を捉えやすく正常部に対してキズ部の信号を明確にすることが容易であった。例えば一定区間の正常部の信号バラツキを算出（平均値も含め）し、そのバラツキを超えた場合にキズとして検出することが可能である。

一方、スジムラは該スジムラの面積占有率が非常に高く、スジムラを突発信号として検出することが不可能である。また、スジムラは正常部の輝度と同範囲の明るさを持って変化しており、正常部との識別がより一層困難である。

10

20

30

40

50

本発明は、このように従来では検査することができないような表面欠陥であっても、目視による検査結果に近い結果を得ることができる。

【0025】

はじめに、本発明の1つの実施形態に係る表面欠陥の検査方法S10（以下、「検査方法S10」と記載することがある。）による、「スジムラの検出」、「スジムラの有害度の決定」、及び「スジムラの弁別」について説明する。検査方法S10は、例えば図1に示した検査装置10によりおこなわれる。表面欠陥検査装置10については後で詳しく説明する。検査方法S10では、例えば照明手段11により照明された鋼板1の表面を撮像手段12により撮像し、撮像された画像を演算処理装置13で処理することにより「スジムラの検出」、「スジムラの有害度の決定」、及び「スジムラの弁別」をおこなう。

10

【0026】

<スジムラの検出>

撮像により得られた画像は、画素に分割されて演算処理に供される。図2にスジムラの検出方法を説明するための図を示した。図2では矢印Xが鋼板1の圧延方向、矢印Yが鋼板1の幅方向を示している。スジムラの検出は、得られた画像に含まれる全画素について所定の演算をすることによりおこなわれる。各画素に対して行われる演算は次の通りである。ここでは図2に示した画素 α 1を例として説明する。

【0027】

画素 α 1について説明する。検査対象である鋼板の撮影画像をどの程度の大きさの画素により分割するかについては特に限定されることなく、検出すべき表面欠陥の性質により適切な大きさを適用することができる。画素 α 1の大きさを決めるに際し、目視による検査に近い検査結果を得るという観点から例えば次のような手法を採用することができる。

20

【0028】

すなわち、目視による検査において検査者は、通常、800mm～2000mmの距離で離れた位置から検査対象である鋼板表面を目視している。ここでスジムラを鋼板表面に生じる縞模様と考えたとき、人間の視覚は視野角1°内に3cpd(circle per degree)～8cpdの縞模様があるときに当該縞模様を感度よく認識することができる。そして、当該視野角1°内に25cpd～50cpdの縞模様であればこれを目視で感じ取ることが可能であるとされている（氏家弘裕、視覚の情報処理、計測と制御、Vol.41-10(2002)等）。

30

【0029】

そこで、検査者が観察面から1000mm離隔した位置から鋼板を検査している場合、1°の視野角に含まれる鋼板表面の幅は約17.5mmである。当該17.5mmの中に25cpd～50cpdの縞が含まれたときに検査者はこれを認識することができるので、縞のピッチは0.25mm～0.7mmである。これは縞のピッチであるから、1つのピッチ中には明暗のスジが1つずつ含まれるので、そのうちの1本は、0.13mm～0.35mmである。これに基づいて、1つの画素はその一辺が0.13mm～0.35mmであることが好ましい。これには例えば0.3mmであることが含まれ、本実施形態では画素 α の一辺は0.3mmとしている。

【0030】

40

引き続きスジムラの検出について説明する。次に、以上の例等により所定の大きさを有する画素 α 1について、該画素 α 1を含むとともに、少なくとも1つの画素が画素 α 1に隣接して連続する5画素からなる領域Aを設定する。これには例えば図2に太い線で囲まれた領域Aを挙げることができる。そして当該領域Aに含まれる5画素の各種データの平均値を得てこれを画素 α 1の値とする。この各種データには、少なくとも明度を算出するために必要とされるデータを含むものとする。そして、当該データの平均値を用いて、後述する方法等により明度の平均値を求めることが可能である。ここで5画素は α 1を含んでいればよく、圧延方向上流側、圧延方向下流側、幅方向、斜め方向等適宜設定できる。これは、表面欠陥の形状の観点から設定することがよい。本実施形態では、スジムラの形状の特徴から α 1を最も上流側とした圧延方向の連続した5画素とした。

50

【 0 0 3 1 】

本実施形態では、領域 A は 5 画素から形成されているが、必ずしもこれに限定されるものではない。しかし、領域 A に含まれる画素が少ないと信号のノイズの影響が大きくなり、適切にスジムラを検出することができない。一方、領域 A に必要以上に多くの画素を含めてしまうとスジムラの部分と正常部とが平均化される可能性が高くなるので適切にスジムラを検出することができない。本実施形態におけるスジムラの検出では、例えばその長さが 1 . 5 mm であるような微小なスジムラも検査するために、領域 A の長さも 1 . 5 mm より大きくならないために、5 画素とした。このように領域に含まれる画素は検査対象となる欠陥に応じて適宜変更することができる。

【 0 0 3 2 】

10

次に図 2 に B で示した領域 B を設定し、ここにおける各種データの平均値を算出しておく。この各種データにも、少なくとも明度を算出するために必要とされるデータを含むものとする。そして、当該データの平均値を用いて、後述する方法等により明度の平均値を求めることが可能である。領域 B は領域 A と同じ大きさ、及び形状であり、領域 A から鋼板の幅方向（図 2 に Y で示した方向）に 4 画素分離隔した位置に設定される領域である。

【 0 0 3 3 】

領域 A と領域 B とをどの程度分離させるかについては特に限定されることなく、検出すべき表面欠陥により適切な距離を適用することができる。その中でも領域 A と領域 B との距離を決めるに際し、目視による検査に近い検査結果を得るという観点から例えば次のような手法を採用することができる。

20

【 0 0 3 4 】

すなわち、上記したように人間の視覚は視野角 1 ° 内に 3 c p d (c i r c l e p e r d e g r e e) ~ 8 c p d の縞模様があるときに当該縞模様を最も感度よく認識することができる。そこで、検査者が観察面から 1 0 0 0 mm 分離隔した位置から鋼板を検査している場合、1 ° の視野角に含まれる鋼板表面の幅は約 1 7 . 5 mm である。すると、最も感度が良いのはこの 1 7 . 5 mm の中に 3 c p d ~ 8 c p d の縞模様が含まれる場合であるから、縞のピッチは 2 . 1 9 mm ~ 5 . 8 3 mm である。これは縞のピッチであるから、ここには明暗スジが 1 つずつ含まれるので、そのうちの 1 本は、1 . 1 0 mm ~ 2 . 9 2 mm である。

【 0 0 3 5 】

30

以上より、領域 A と領域 B とは 1 . 1 0 mm ~ 2 . 9 2 mm の距離で分離隔していることが好ましい。本実施形態では一辺が 0 . 3 mm である画素が 5 つ分であるから 1 . 5 0 mm となりこの範囲に含まれている。

【 0 0 3 6 】

スジムラの検出について説明を続ける。上記のようにして得られた画素 α 1 のデータ、及び領域 B のデータから、それぞれについて色彩座標 (L * , a * , b *) を求める。色彩座標は、公知の変換式である、例えば式 (1) ~ 式 (3) により求めることができる。ここで、R、G、B は輝度情報である。

【 0 0 3 7 】

【 数 1 】

40

$$R^* = \left(\frac{R}{255} \right)^{2.2}, \quad G^* = \left(\frac{G}{255} \right)^{2.2}, \quad B^* = \left(\frac{B}{255} \right)^{2.2} \quad (式1)$$

【 0 0 3 8 】

【数 2】

$$X = 100 \cdot (0.3933 \cdot R^* + 0.3651 \cdot G^* + 0.1903 \cdot B^*)$$

$$Y = 100 \cdot (0.2123 \cdot R^* + 0.7010 \cdot G^* + 0.0858 \cdot B^*) \quad (\text{式2})$$

$$Z = 100 \cdot (0.0182 \cdot R^* + 0.1117 \cdot G^* + 0.9570 \cdot B^*)$$

【0039】

【数 3】

$$L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{100} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

10

$$a^* = 500 \cdot \left[\left(\frac{X}{98.072} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{100} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (\text{式3})$$

20

$$b^* = 200 \cdot \left[\left(\frac{Y}{100} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{118.225} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

【0040】

上記得られた色彩座標から画素α1と領域Bとの色差を算出する。色差ΔEは次式4により算出することができる。ここで、画素α1の色彩座標を(L₁^{*}、a₁^{*}、b₁^{*})とし、領域Bの色彩座標を(L₂^{*}、a₂^{*}、b₂^{*})とする。ここでL^{*}が明度を意味する。

30

【0041】

【数 4】

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (\text{式4})$$

【0042】

このようにして得られた色差を画素α1の色差とし、他の全ての画素についても同様に算出することによりスジムラ部と正常部とを定量的な差として明確に表すことができ、スジムラを検出することができる。すなわち、色差を用いることによりスジムラを明確に検出することができる。例えば得られた色差の最大値と最小値と間とを255諧調に振り分け、これを画像として表示すればスジムラの位置や大きさを画像により視覚的に表すことが可能となる。

40

【0043】

ここでは、色彩座標であるL^{*}、a^{*}、b^{*}の全てを用いて色差を算出する例を示したが、上記したように、本発明では明度(L^{*})のみでの検出が好ましい。従って、式(4)の代わりに次式(5)を用いてスジムラの検出をすることもできる。

【0044】

【数 5】

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2} \quad (\text{式5})$$

【0045】

また、上記では R、G、B、すなわちカラーの画像データを用いてスジムラの検出をする場合について説明したが、本発明ではこれを白黒の画像データを用いてすることができる。以下に詳しく説明する。上記のようにして得られた画素 α 1 のデータ、及び領域 B のデータから、それぞれについて明度 (L*) を求める。白黒の輝度データを GL としたとき、明度 (L*) は、公知の変換式である、例えば式 (6) ~ 式 (8) により求めることができる。

10

【0046】

【数 6】

$$GL^* = \left(\frac{GL}{255} \right)^{2.2} \quad (\text{式6})$$

【0047】

【数 7】

$$Y = 100 \cdot (0.2123 \cdot GL^* + 0.7010 \cdot GL^* + 0.0858 \cdot GL^*) \quad (\text{式7})$$

20

【0048】

【数 8】

$$L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{100} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (\text{式8})$$

【0049】

このようにして得られた明度から画素 α 1 と領域 B との色差を算出する。色差 ΔE は次式 9 により算出することができる。ここで、画素 α 1 の明度を (L₁*) とし、領域 B の色彩座標を (L₂*) とする。

30

【0050】

【数 9】

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2} \quad (\text{式9})$$

【0051】

このようにして得られた色差を画素 α 1 の色差とし、他の全ての画素についても同様に算出することによりスジムラ部と正常部とを定量的な差として明確に表すことができ、スジムラを検出することができる。例えば得られた色差の最大値と最小値の間を 255 階調に振り分け、これを画像として表示すればスジムラの位置や大きさを画像により視覚的に表すことが可能となる。すなわち、この場合には明度のみを用いて色差を算出し、これによりスジムラを明確に検出することができる。その結果、白黒カメラを用いて簡易に検出を行うことができるとともに、取り扱うべき情報量も少なく抑えることができる。

40

【0052】

以上のように本発明によれば、従来識別が困難であった例えばスジムラのような表面欠陥であっても、明確にこれを検出できるとともに、設置すべき機器の簡易化を図り、加えて取り扱うべき情報量も少なく抑えることができる。

【0053】

50

< スジムラの有害度の決定 >

次に「スジムラの有害度の決定」について説明する。スジムラの有害度は、上記したように検査者の目視による総合判断によって決められ、例えば 1 . 0 ~ 4 . 0 までを 0 . 5 刻みでする 6 段階で評価した結果で付される値である。当該有害度は単なるスジムラの有無だけに留まらず、その大きさ、濃淡、数等によっても評価が異なる。本発明はこのような有害度も目視による検査結果と同様の結果を得ることが可能である。

【 0 0 5 4 】

本発明の検査方法におけるスジムラの有害度の決定は、上記色差に基づいて得られる値と、検査者の目視によって付された有害度（以下、「検査者による有害度」と記載することがある。）との相関関係を予め得ておくことにより決められる。当該相関関係を一度得ることができれば、同じ種類の表面欠陥（本実施形態ではスジムラ）についてはこれを利用することにより自動的に有害度を決定することが可能となる。例えば次のように相関関係を得ることができる。

10

【 0 0 5 5 】

（ 1 ）相関関係を得るに際し、予め検査者の目視により有害度が付された鋼板（供試鋼板）を各有害度について準備する。

（ 2 ） 1 つの供試鋼板について上記スジムラの検出で示したように、各画素の色差を算出する。

（ 3 ）所定の色差以上の画素を抽出するため、抽出すべき色差の閾値（色差閾値）を決める。

20

（ 4 ）色差閾値以上である画素を抽出するとともに、抽出した画素における色差の n 乗和である下記（式 10）を算出する（はじめは n = 1. ）。。

【 0 0 5 6 】

【 数 1 0 】

$$\text{色差の}n\text{乗和} = \sum_{i=0}^k \Delta E_i^n \quad (\text{式}10)$$

【 0 0 5 7 】

ここで、k は色差閾値以上を有する全画素数である。

（ 5 ）他の供試鋼板についても（ 2 ）～（ 4 ）を繰り返して各供試鋼板について色差の和を求める。

30

（ 6 ）上記（ 5 ）の各供試鋼板における色差の和と目視による有害度との間に、有害度全範囲に関して適切に相関関係を得ることができるかについて判断する。

（ 7 ）有害度全範囲又は一部の範囲で相関関係が得られない場合には、当該相関関係が得られない全範囲又は一部の範囲について色差閾値を変更して（ 4 ）～（ 6 ）を繰り返す。

（ 8 ）上記（ 7 ）によっても有害度全範囲について適切に相関関係を得ることができないときには、（式 10）の n を n = 2 として（ 4 ）～（ 6 ）を繰り返す。

（ 9 ）さらに n = 2 によっても有害度全範囲について適切に相関関係を得ることができないときには式 10 の n = 3、4、... と順次 n の値を変更して（ 4 ）～（ 6 ）を繰り返す。

40

【 0 0 5 8 】

このようにして、検査者による有害度判定結果と、本発明による有害度判定の結果との間に相関関係を得る。これにより、この関係を利用して製造ライン上で鋼板各所における有害度を測定することができる。

【 0 0 5 9 】

ここで、当該相関関係によりどのように有害度が決められるかについて一例を挙げる。この例では、n = 2（すなわち色差の 2 乗和）において、検査者の目視による有害度が 1 . 0、1 . 5、2 . 0 の供試鋼板のときは色差閾値 1 . 5 で、有害度が 2 . 5、3 . 0、3 . 5 の供試鋼板のときには色差閾値 5 . 0 で、適切な相関関係を得られたものを示す。図 3 に得られた相関関係をグラフに表した。図 3（ a ）は、色差閾値 1 . 5 で有害度 1 . 0 ~ 2 . 0 に対して相関がとれたことを示す図で、すなわち色差閾値 1 . 5 以上の色差 2

50

乗和は、その値が 10^5 以上であるときには有害度を決定することができないことを意味する。一方、図 3 (b) は、色差閾値 5.0 で有害度 2.5 ~ 3.5 に対して相関がとれたことを示す図で、すなわち有害度 2.5 ~ 3.5 を判断するためには、色差閾値 5.0 以上の画素について色差 2 乗和を計算して判断する。これによれば、ある被検査面の画像について次のように有害度を決定することができる。図 4 には説明を分かりやすくするための図を示した。図 4 において各セルは画素を表し、その内側に記載された数値はその画素における色差を示している。

【0060】

始めに、得られた各画素の色差値から、色差 1.5 以上である画素 (図 4 (a) の太線内。) を抽出し、抽出された画素に関して、 $n = 2$ とした式 10 から色差の 2 乗和を算出する。ここで、色差 2 乗和が 10^5 以下であった場合には、図 3 (a) から有害度を決定する。

10

色差 2 乗和が 10^5 より大きい場合には、色差 5.0 以上である画素 (図 4 (b) の太線内。) を抽出し、抽出された画素に関して、 $n = 2$ とした式 10 から色差の 2 乗和を算出する。そして図 3 (b) から有害度を決定する。

【0061】

このようにして、目視による検査に沿った有害度の決定をすることができる。

【0062】

<スジムラの弁別>

次に「スジムラの弁別」について説明する。スジムラの弁別は、スジムラを形態の観点から弁別する。すなわち「長スジ」、「短スジ」、「大ムラ」、及び「小ムラ」を得られた画像から分類することにより弁別をすることができる。具体的には、上記したスジムラの検出や、スジムラの有害度の決定の際に算出した色差を用い、これを所定の色差を閾値として 2 値化する。そして得られた 2 値化画像から、各スジムラの長さ (圧延方向長さ) 及び面積を得る。詳しくは、スジムラの長手方向の画素数を得ることによりスジムラ長さを、スジムラに含まれる画素の総数によりスジムラ面積をそれぞれ算出する。そして検出したスジムラの最大面積と最大長さを特徴量として弁別する。

20

【0063】

以上のような検査方法 S 10 により、例えば製造ラインにおいて鋼板の表面欠陥 (例えばスジムラ) を検出して有害度を算出し、さらにその種別を弁別することが可能となる。図 5 に説明するための図を示した。図 5 では、製造ラインにおいて鋼板 1 が矢印 C で示した方向に進行している場面で、鋼板 1 の検査面を表している。本発明の検査方法では、鋼板 1 の検査面を所定の面 Z 1、Z 2、... で分割してこれを 1 単位として検査をおこない、他の面の検査を順次おこなっていく。図 5 でははじめに領域 Z 1 について検査をおこない、順次、領域 Z 2、Z 3 ... の検査をする。ここで、隣り合う領域同士では、その端部の一部が重なり合うように設定されることが好ましい。これにより誤差の生じ易い境界部分であっても検査の精度を向上させることができる。

30

【0064】

領域 Z 1 の大きさは撮像手段の性能や鋼板の幅等により適宜決定することができる。その中でも人間の視覚を考慮することにより次のように図 5 に D で示した大きさを適用することができる。すなわち、人間がある視野内のものを観察しているとき、注目した点から 8 度以上外側の部分における視認能力は半減する (氏家弘裕、視覚の情報処理、計測と制御、Vol. 41 - 10 (2002) 等)。これに基づき検査者が適切に視認している範囲を考えると検査面から 1000 mm 離隔した位置から検査している場合、140.5 mm の範囲で良く認識することができる。従って、これに基づいて図 5 に示した D の大きさをこれに近い大きさにすることにより、人間の視覚に沿った結果を得ることができるとも考えられる。

40

【0065】

このように各領域 Z 1、Z 2、... について検査をし、その領域における表面欠陥の検査をおこなうことにより、鋼板の各領域における表面欠陥の有無、有害度、種類を得ること

50

ができる。これによれば例えば図 6 に示したように、鋼板 1 の全長 L に対してどの位置にどの程度の有害度を有する部分が存するかのマッピング（出力）をすることができ、鋼板 1 の状態を的確にかつ容易に表示することも可能となる。

【0066】

以上のように、本発明の検査方法によれば、目視検査に頼らざるを得なかったスジムラのような表面欠陥であっても、装置により目視と概ね同じ評価結果を得ることができる。

【0067】

次に、図 1 に示した 1 つの実施形態に係る本発明の表面欠陥検査装置 10 について説明する。図 1 は、表面欠陥検査装置 10 により鋼板 1 の表面を検査している場面を模式的に示した図である。鋼板 1 は製造ライン中を図 1 に矢印 E で示した方向に進行している。表面欠陥検査装置 10 はこのように、製造ライン中を進行する鋼板 1 の表面に面して配置され、上記した検査方法 S 10 等により表面欠陥を検査する。以下に表面欠陥検査装置 10 について詳しく説明する。

【0068】

表面欠陥検査装置 10 は、照明手段 11、撮像手段 12、及び演算処理手段 13 を備えている。

照明手段 11 は、鋼板 1 の表面を照明する手段で、これにより鋼板 1 を適切に撮像することができる。適切に鋼板 1 を照明することができれば照明の種類は特に限定されるものではないが、鋼板 1 が照明される範囲で照度ができるだけ一定であることが好ましい。これには例えばライン LED を用いることができる。図 7 は高周波蛍光灯、伝送ライト、及びライン LED を用いて対象面を照明した時における鋼板の位置と照度との関係を示したグラフである。横軸は対象面の中央を 0 mm として左右方向それぞれの距離（ ± 200 mm）を表し、縦軸はその位置における照度（Lx）である。図 7 に F で示したグラフは高周波蛍光灯、G で示したグラフは伝送ライト、及び H で示したグラフはライン LED をそれぞれ示している。

【0069】

図 7 からわかるように、高周波蛍光灯（F）は照度の変化が大きい。また、伝送ライト（G）及びライン LED（H）は ± 200 mm の範囲で概ね一定の照度を得ることができる。そしてさらに両者を比較すると、照度の差はライン LED（H）の方が小さい。このような結果から本実施形態では照明手段 11 をライン LED とした。また、実際の検査では、検査対象である鋼板の幅は最大で 1900 mm 程度であり、2000 mm 程度のライン LED を準備することにより広く検査をすることが可能となる。

【0070】

照明が配置される位置についても鋼板 1 を適切に照明し、表面欠陥の検査をすることができれば特に限定されるものではないが、撮像手段 12 との関係で好ましい位置関係を例示することができる。詳しくは後で説明する。

【0071】

撮像手段 12 は照明により照らし出された鋼板表面を撮像し、各画素におけるデータを収集する手段である。これには例えばカメラを挙げることができる。当該カメラは上記した本発明の検査方法に供するデータを収集することができればその性能、及び形式等は特に限定されるものではない。従って、線状にデータを収集しこれを走査してデータを得るいわゆる一次元のカメラであってもよく、面状にデータを収集することができるいわゆる二次元のカメラであってもよい。

【0072】

例えば当該カメラの性能を次のような観点から選定することができる。分解能（1 画素当たりの撮影分解能力）の観点から考察すると、一般的に、濃淡の差が少ないスジムラにおいては特に、分解能の低下に伴い S/N 比も低下する傾向にある。スジムラについて当該分解能を検討した結果、1 画素は $0.3 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm}$ （ $0.3 \text{ mm} / \text{画素}$ ）以上の分解能において良好な S/N 比を得ることができる知見を得た。従って、分解能が $0.3 \text{ mm} / \text{画素}$ 以上であるカメラを適用することが好ましい。当該 $0.3 \text{ mm} / \text{画素}$ であるこ

とは、上記した検査者の目視感度の観点からの分解能とも良く一致し、かかる観点からも好ましいものであるといえる。

【 0 0 7 3 】

演算処理手段 1 3 は、撮像手段 1 2 で得られたデータを取得し、上記説明した検査方法の基づく演算をし、及びその結果を出力する手段である。従って、情報処理手段はかかる機能を有するように構成されていればその形態は特に限定されるものではない。

例えば、演算処理手段 1 3 には、撮像手段からのデータを受け入れる入力ポート、予め決められた演算式や条件式等が格納された R O M、各種データの一時的な格納や演算をするための領域として設けられる R A M、及び演算結果を出力する出力ポート等が備えられる。

10

【 0 0 7 4 】

照明手段 1 1 及び撮像手段 1 2 は、照明手段 1 1 が照明した鋼板 1 からの反射光を撮像手段 1 2 が取得することができるよう配置されればよい。そのために例えば照明手段 1 1 の照射角度、撮像手段 1 2 の受光角度、及び照明手段 1 1 と撮像手段 1 2 との距離等を得られる信号の S / N 比の観点から最適値を得ることが可能となるように配置することを挙げることができる。

【 0 0 7 5 】

以上のような表面欠陥検査装置 1 0 により上記した表面検査方法をおこなうことができ、目視検査に頼らざるを得なかったスジムラのような表面欠陥であっても、装置により目視と概ね同じ評価結果を得ることができる。

20

【 0 0 7 6 】

また、さらに撮像の効率を向上させるため、表面欠陥検査装置では、照明手段、撮像手段及び鋼板の検査面が遮光手段の内側に配置されるように構成してもよい。これには例えば、照明手段、撮像手段及び鋼板の検査面を遮光された筐体内に備える態様を挙げることができる。

【 0 0 7 7 】

以上、現時点において最も実践的であり、かつ好ましいと思われる実施形態に関連して本発明を説明したが、本発明は本願明細書中に開示された実施形態に限定されるものではなく、請求の範囲および明細書全体から読み取れる発明の要旨或いは思想に反しない範囲で適宜変更可能であり、そのような変更を伴う、表面欠陥検査方法、検査装置、鋼板の製造方法、及び製造装置も本発明の技術的範囲に包含されるものとして理解されなければならない。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 8 】

【 図 1 】 1 つの実施形態に係る本発明の検査装置を模式的に示した図である。

【 図 2 】 スジムラの検出を説明するための図である。

【 図 3 】 目視による有害度と色差 2 乗和との相関関係を示すグラフである。

【 図 4 】 画素の抽出について説明するための図である。

【 図 5 】 検査の領域について説明するための図である。

【 図 6 】 出力表示の一例である。

40

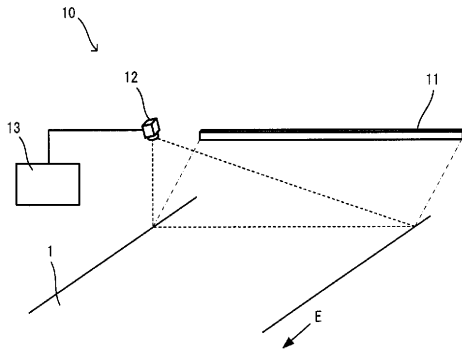
【 図 7 】 照明手段の選定を説明するためのグラフである。

【 符号の説明 】

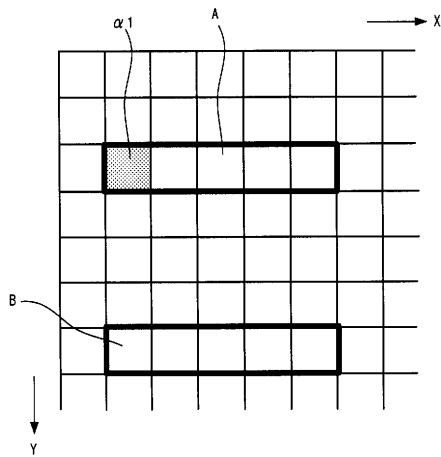
【 0 0 7 9 】

- 1 被検査材（鋼板）
- 1 0 表面欠陥検査装置
- 1 1 照明手段
- 1 2 撮像手段
- 1 3 演算処理装置

【図 1】



【図 2】



【図 4】

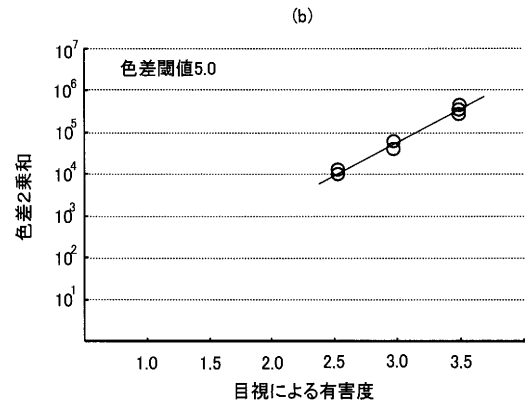
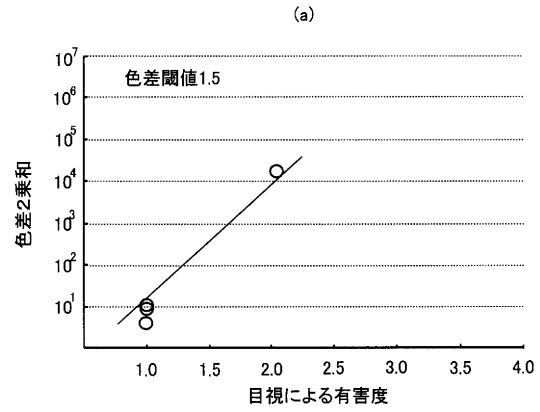
(a)

0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	1.5	2.5	2.5	0.5	2.5	2.5	5.5	5.5	0.5
0.5	0.5	1.5	3.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	0.5
0.5	1.0	1.5	5.5	6.0	5.5	7.5	7.5	6.5	0.5
0.5	0.5	1.0	0.5	1.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

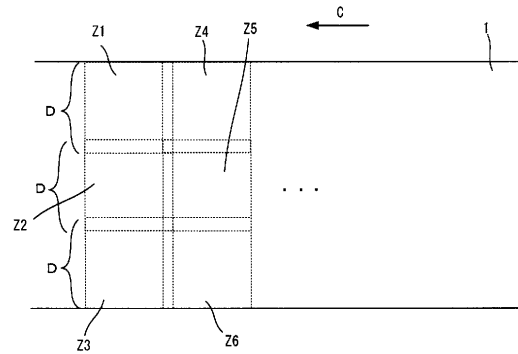
(b)

0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	1.5	2.5	2.5	0.5	2.5	2.5	5.5	5.5	0.5
0.5	0.5	1.5	3.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	0.5
0.5	1.0	1.5	5.5	6.0	5.5	7.5	7.5	6.5	0.5
0.5	0.5	1.0	0.5	1.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

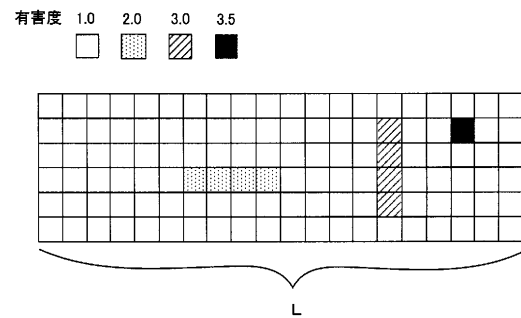
【図 3】



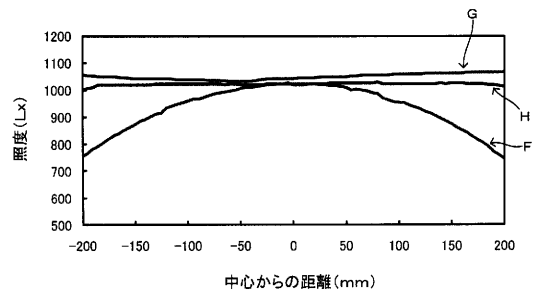
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 大久保 寛之

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内

(72)発明者 柏木 宏之

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内

Fターム(参考) 2G051 AA37 AB02 CA04 CB01 DA06 EA08 EA17 EB01 EC01 EC06