

FEM解析による三角焼きで生じる絞り量に及ぼす線状加熱加工因子の検討

九州工業大学 ○住吉 晃, 西田 尚典, 寺崎俊夫 北村 貴典

Consideration of Line Heating Factors on Transverse Shrinkage

Generated by Triangle Heating by FEM Analysis

by Akira Sumiyoshi, Hisanori Nishida, Toshio Terasaki and Takanori Kitamura

キーワード：三角焼き, 絞り, ガウス半径, 水冷, たわみ

Keywords: Triangle heating, Transverse shrinkage, Gauss radius, Water cooling, Displacement distribution

1. 緒言

線状加熱加工により板を曲げるぎょう鉄作業は、造船所の設計者とぎょう鉄職人が経験と勘を基に技術を維持・継承してきた。近年、熟練技能者の高齢化が問題となりぎょう鉄技能の伝承問題に対する試みとして、線状加熱加工の自動化システムの構築があげられる。現在では、線状加熱加工による相似則を明らかにし、横収縮の整理に成功している¹⁾。またヤグレーザ熱源が使用できるようになり、研究室で線状加熱加工の基礎研究としてレーザを利用した板曲げ加工（レーザフォーミング）の研究が行えるようになった。

有限要素法(FEM)による熱弾塑性解析で腕形に加工する解析手法は既に確立し、変形に及ぼす因子は徐々に解明されている²⁾。材料を変形させる上で温度上昇は重要であり、本報では、移動ガウス分布熱源理論式より算出した温度上昇のパラメータ ($Q_{net}^{0.5B}/h^2, v_{0.5B}h, a/h$) の影響について検討した。また線状加熱の現場ではガストーチ後方からホースで水冷を行って効率良く絞りを出している場合が多い。横収縮を効率良く与えるためには水冷機能が必要か否かは重要である。そこで水冷が横収縮に及ぼす影響についても検討した。

2. 解析方法

解析対象の材料は急熱急冷による加熱部の硬さ変化のない SUS304 とした。試験片寸法は板長 $L200\text{mm}$, 板幅 $B200\text{mm}$, 板厚 $h2.41\text{mm}$, 板幅方向の曲率半径 $R_B400\text{mm}$, 加熱長さ $b70\text{mm}$ で板幅方向に曲率をもった曲板に対し加熱速度 $v(\text{mm/s})$ を 5 段階に分割して加熱した。

3. 解析結果及び考察

3.1 現場で行われている加熱条件と解析で用いた加熱条件の比較

実際の線状加熱現場で行われている軟鋼の加熱条件²⁾を参考に温度上昇のパラメータを同じにして解析を行った。結果を Table1 に示す。

Table1 Comparison of heating condition on job site and analysis

	L (mm)	B (mm)	h (mm)	A (mm)	a (mm)	A/a	a/h	$Q_{net}^{0.5B}/h^2$ (J/mm^2)	$v_{0.5B}h$ (mm/s)	$v_{0.5B}h$ (mm/s)	T_{max}^{upper}	T_{max}^{lower}
Job site	500	500	18	40	55	1.34	3.10	19.4	—	50.76	800	—
Analysis	200	200	2.41	5.1	7.0	1.34	2.90	18.3	51.57	60.27	772	632

A: Rear position of water cooling

ここで熟練技能工によると加熱開始位置は絞りあまり影響を与えないため、速度変化に神経を集中させないとのことである。すなわち $v_{0.5B}h$ の値はすこしづれが生じているが無視できるとした。実際の現場では加熱表面の最高温度上昇 $T_{max}^{upper} = 800^\circ\text{C}$ 程度になっている。数値解析においては $T_{max}^{upper} = 772^\circ\text{C}$ になった。今回解析対象の材料は軟鋼ではなくステンレス鋼(SUS304)を用いたが解析の結果が現場とあっていることが確認でき、以下の加熱条件においてこの解析方法を適用した。

3.2 変形に及ぼすガウス半径 a/h の影響

温度上昇のパラメータ ($Q_{net}^{0.5B}/h^2, v_{0.5B}h, a/h$) の中に含まれる a/h に注目して、ガウス半径 a を変化させた場合の影響について検討した。解析結果である最終変形形状を描画ソフトを用いて確認して Torus (輪環面) の一部となり腕形となっているものを採用できるデータ、腕形になっていないものを採用できないデータとした。板幅端部の横収縮を a/h で整理したグラフを Fig.1 に示す。採用できるデータを実線、採用できないデータを点線で示した。

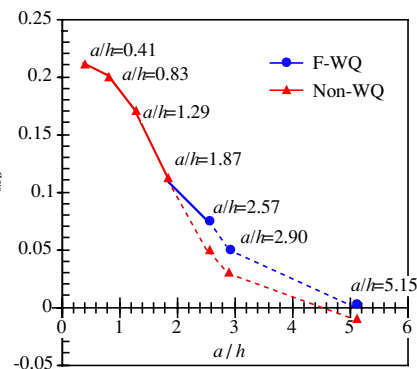


Fig.1 Relation between gauss radius and transverse shrinkage at the of plate width

ここで ah を大きくしていくと本来の目的形状である楕形を形成できなくなってしまうことがわかった。理由としてはガウス半径が大きくなると加熱過程での熱膨張が大きくなり、冷却後の収縮量が小さくなって楕形を形成できなかったことが考えられる。また水冷をすることによって横収縮は増加し $a/h=2.57$ まで楕形を形成できるようになることがわかった。

3.3 変形に及ぼす入熱 $Q_{net}^{0.5B}/h^2$ の影響

温度上昇のパラメータ($Q_{net}^{0.5B}/h^2, v_{0.5B}h, a/h$)の中に含まれる $Q_{net}^{0.5B}/h^2$ の影響を検討するためにレーザパワー P_{net} を変化させて検討した($Q_{net}^{0.5B} = \frac{P_{net}}{v}$)。Fig.2に入熱のパラメータ $Q_{net}^{0.5B}/h^2$ と板端部の

横収縮 $S_{0.5B}$ を h で割った比 $S_{0.5B}/h$ の関係を示す。採用できるデータを実線、採用できないデータを点線で示した。このグラフより楕形を形成できる範囲として $Q_{net}^{0.5B}/h^2$ の値は $18.3\sim 46.4 \text{ J/mm}^3$ となることが読み取れる。また水冷をすることによって横収縮は増加し楕形を形成できる範囲は $9.2\sim 46.4 \text{ J/mm}^3$ に広がることわかった。

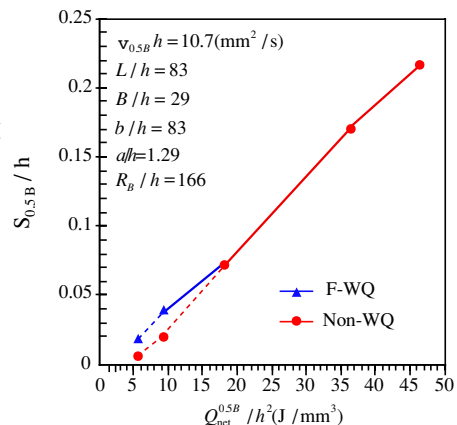


Fig.2 Effect of heat input parameter on transverse shrinkage

3.4 変形に及ぼす加熱速度 $v_{0.5B}h$ の影響

温度上昇のパラメータである($Q_{net}^{0.5B}/h^2, v_{0.5B}h, a/h$)のうちの加熱速度の影響の検討を行った。Fig.3に加熱速度のパラメータ $v_{0.5B}h$ を板端部の横収縮 $S_{0.5B}$ を h で割った比 $S_{0.5B}/h$ の関係を示す。Fig.3より $v_{0.5B}h$ が大きくなると横収縮は増加し徐々に落ち着く傾向になった。水冷をすることで横収縮は増加し、水冷の場合も空冷と同様に加熱速度を大きくすると横収縮は増加し徐々に落ち着く傾向になった。よって横収縮を効率良く与えるためには加熱速度を大きくした方が良かった。しかし、 $v_{0.5B}h = 32$ になると水冷と空冷の横収縮値は同じになった。Fig.4に板幅端部($x=45, y=100$)の位置の過渡変形を示す。加熱速度 v を小さくすることで試験片が大きく膨張してしまい、加熱速度が大きいつきに比べて横収縮が小さくなっていった。加熱速度が大きくなると加熱過程での膨張が少なくなりその分冷却過程での収縮が大きくなり最終的に横収縮は大きくなっていった。つまり水冷することにより加熱過程での膨張を減らして収縮を大きくしていたが速度がかなり大きいときは加熱過程での膨張がほとんどなく水冷をしても変化しないということがわかった。

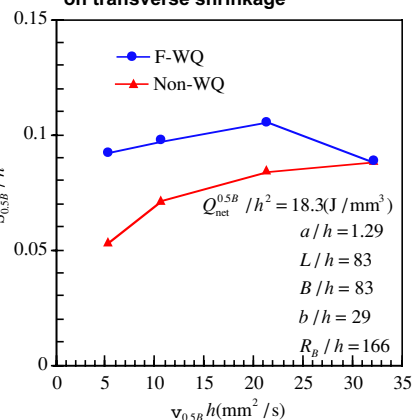


Fig.3 Effect of velocity parameter on transverse shrinkage

4. 結言

(1) ガウス半径が大きくなると加熱過程での熱膨張が大きくなり、結果として横収縮は小さくなる。また $a/h=1.87$ を超えると楕形を形成できなくなってしまうが水冷を行うことで楕形を形成できる範囲が広がった。

(2) 入熱が大きくなるにつれ、端部の横収縮も増加した。水冷を行うことで横収縮は増加し楕形を形成できる範囲は広がった。

(3) 加熱速度を大きくすることで横収縮は増加し、徐々に一定値を示すことがわかった。また水冷を行うことで横収縮は増加したが $v_{0.5B}h = 32$ になると水冷なしのときの値と一致した。

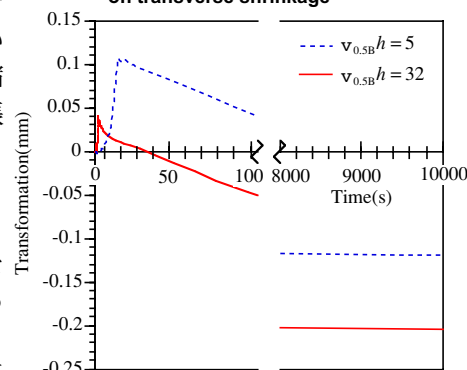


Fig.4 Transition transformation

参考文献

- 1) 西田尚典, 寺崎俊夫:FEM解析による楕形絞り加工の相似則の検討,平成17年度 溶接学会九州支部講演論文集 p.97-100
- 2) 寺崎俊夫, 水上優, 中谷光良, 大澤 守彦:三角焼きにより生じる絞り量に及ぼす線状加熱加工因子の影響,日本造船学会論文集,193,p.75-83