



Title	Development of Inherent Deformation Database for Automatic Forming of Thick Steel Plates by Line Heating Considering Complex Heating Patterns
Author(s)	Adan, Vega Saenz
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/49577">https://hdl.handle.net/11094/49577</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

【94】

氏 名 アダン ベガ サエンス  
Adan Vega Saenz  
博士の専攻分野の名称 博士(工学)  
学 位 記 番 号 第 22985 号  
学位授与年月日 平成 21 年 3 月 24 日  
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当  
工学研究科地球総合工学専攻  
学 位 論 文 名 Development of Inherent Deformation Database for Automatic  
Forming of Thick Steel Plates by Line Heating Considering Complex  
Heating Patterns  
(複雑な加熱パターンを有する線状加熱による厚鋼板の自動曲げ加工の  
ための固有変形データベース開発)  
論 文 審 査 委 員 (主査)  
教 授 村川 英一  
(副査)  
教 授 大沢 直樹 教 授 藤久保昌彦 准教授 中長 啓治  
准教授 芹沢 久 准教授 望月 正人

#### 論文内容の要旨

Metal forming by line heating is an efficient and economical method for forming flat metal plates into doubly curved shapes. This thesis proposes an accurate method to predict heat-induced deformation that enables automation of the process of plate forming by line heating. Since the analysis of the line heating process is highly

complex either, experimentally or using simple mechanical models, a 3D thermal elastic-plastic Finite Element Method (FEM) is established first. Using this FEM, plate deformation caused by heating lines over large plates such as those used in shipbuilding, as opposed to the small plates investigated in existing research, is accurately predicted. The deformation under the line heating process is mainly affected by the heat input, the speed of the heat source and the thickness of the plate. Thus, the relations among these parameters are examined in details. The influences of the secondary parameters affecting the line heating process such as size of the plate, material properties, location of heating lines, heat induced curvature, cooling conditions and residual stress on the deformation produced by a single heating line is then clarified. The influence of overlapped, parallel and crossed heating lines on deformation of repeated heating lines is successfully investigated. New methods to increase the deformation at the plate edges are also proposed. Finally, the relations between heat induced deformation and influential factors are investigated parametrically and recorded as inherent deformation database for a wide range of plate geometries and heating conditions. Compared with conventional methods, this database takes into account the deformation produced by multiples heating lines over large plates. Based on the this database, it is possible to not only determine the heat induced deformation produced by a given heating condition, but also determine the correction factors that are necessary to improve the accuracy of the process of forming flat plate into a doubly curved plate. This database lays the basis for heat-induced deformation prediction and therefore the automation of the plate forming by line heating.

The thesis consists of nine chapters. The background and the objectives are presented in chapter 1. In chapter 2, the relation between the final geometry to be achieved and the necessary inherent strain is first studied. Finite Element Method (FEM) used to investigate the relation between applied heat, influential factors and plate deformation is described in details in chapter 3. In chapter 4, the relation between influential factors, such as the heating condition, the cooling condition, the plate geometry, the location of the heating line, residual stress and material properties, on inherent deformation for a single heating line has been examined. The inherent deformation of repeated heating lines, such as overlapped, parallel and crossed heating lines, has been studied in details in chapter 5. In chapter 6, the deformation produced at plate edges is studied in details and recommendations of better practice to increase the deformation at the plate edges are given. Based on the above studies, an inherent deformation database for plate bending by the line-heating method has been proposed in chapter 7. In chapter 8, the effectiveness of the proposed method for prediction of plate deformation is examined. Finally, chapter 9 concludes the thesis and recommendations for future improvement are given.

### 論文審査の結果の要旨

船舶の外板は、推進性能や耐航性能を確保するため複雑な3次元曲面から構成されている。これらの3次元曲面は平らな鋼板を機械的な方法および熱的な方法を有効に組合せた曲げ加工により製作される。特に熱加工である線状加熱は熟練技能であるとともに重労働もあり、少子高齢化の現在において技術の継承が大きな問題となっている。一方、近年におけるコンテナ船などの大型化、高速化によって曲げ加工すべき曲面が複雑化、厚板化している。そのような鋼板の曲げ加工にはより多くの加熱線が必要であり、結果として加熱線の交差や接近が多く発生するため、曲げ変形の予測においてはその影響が無視できない。本研究は、理論的な変形予測に基づく自動板曲げ装置を実現するために必須となる線状加熱で得られる変形、すなわち固有変形のデータベースを多重加熱を対象に構築しようとするものであり、9章で構成されている。

第1章では、線状加熱に関する既往の研究を総括するとともに、本論文の位置付けについて述べている。

第2章では、線状加熱により得ようとする変形とこれに必要な固有ひずみの関係を定量的に検討している。

第3章では、線状加熱により生成する固有ひずみと入熱量、加熱速度およびその他の影響因子の関係を明らかにするために用いた熱弾塑性有限要素法の詳細について述べている。

第4章では、単一の線状加熱を対象に、加熱条件、冷却条件、鋼板の寸法、加熱位置、材料特性、残留応力などの因子が線状加熱の結果得られる変形に及ぼす影響を熱弾塑性有限要素法を用いた解析により明らかにしている。

第5章では、重畠加熱、平行加熱、交差加熱など複数の線状加熱が行われた時に生じる固有変形に注目し、単一加

熱の場合と同様に有限要素法を用いたシリーズ計算を実施し、多重加熱で生じる固有変形と単一加熱で得られる変形の単純和との差に注目し、これを重畠加熱影響、平行加熱影響、交差加熱影響として定量化している。

第6章では、鋼板を全長にわたって線状加熱した際に加熱始終端で横収縮などの変形量が中央部と比較して小さくなる現象が端部影響として知られており、この影響の定量化を行うとともに、端部影響の低減手法として、Edge Heating法およびDouble Edge Heating法を提案している。

第7章では、以上の検討に基づき、単一加熱および重畠加熱、平行加熱、交差加熱を対象に、加熱条件、板厚、鋼種をパラメータとした固有変形データベースを構築している。

第8章では、互いに直行する6本の線状加熱による鋼板の変形を対象に、データベースから得られる固有変形を用いた弾性有限要素法解析および詳細な熱弾塑性解析を実施し、両者による変形予測が一致することから、データベースの妥当性とこれを用いた弾性解析の有効性を検証している。

第9章では、第2章から第8章までに得られた主な結果に対して総括を行なうとともに今後の課題について提言を述べている。

以上のように、本論文は近年における船舶の大型化、性能向上による曲げ加工対象曲面の複雑化、厚板化および熟練工の減少に対する有効な手段である自動線状加熱装置を実現するために必須である多重加熱を対象に固有変形データベースを構築するとともにその有効性を検証したものであり、学術的な価値を有するとともに船舶の建造技術の高度化に貢献するものである。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。