

# 大型鍛鋼品の表面疵および焼割れの抑制に関する研究

有川, 剛史

<https://hdl.handle.net/2324/1807022>

---

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 有川 剛史

論 文 名 : 大型鍛鋼品の表面疵および焼割れの抑制に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

大型鍛造の特徴は、その素材となる鋼塊を鍛造加工することで、鋼塊の鑄込み時に発生する材料内部の鑄造欠陥（空隙）を無害化し、鋼の機械的特性を改善・向上させるとともに、複雑な三次元形状を材料歩留まり良く、また、継ぎ目のない大型一体製品を製造できる点にある。大型鍛造により作成した鍛鋼品は、大型・複雑形状であり、かつ、強度・耐久性の求められる部位に多く用いられている。特に、このような部品を多く必要とする船舶分野（クランク軸、中間軸、推進軸など）、重電分野（ローターシャフト、タービンプレード、圧力容器、チャンネルヘッド、圧延ロール、車輪など）等において鍛鋼品は必要不可欠なものであり、非常に重要な製造品である。

この大型鍛鋼品の製造工程の課題の中に、鍛造工程での表面疵と焼入れ工程での焼割れがある。鍛造工程にて表面疵が発生すると、製品形状を確保できなくなる場合がある。そのため、必要以上の機械加工代を設けたような鍛造形状設計をせざるを得なくなり、ニアネットな鍛造形状に成形することができなくなる。また、焼入れ工程にて焼割れが発生すると、そのほとんどで製品形状が確保できなくなり、製品廃却となる。特に、大型鍛鋼品の場合は、その大きさが代表するように、製品廃却に伴う経済的な損失は大きい。大型鍛鋼品の鍛造工程における積極的なニアネット化および熱処理工程における積極的な焼入れ処理の適用を実現するには、鍛造工程での表面疵および焼入れ工程での焼割れの抑制手法の検討・確立が必須の課題であるといえる。

本論文では、大型鍛鋼品の「鍛造工程で発生する表面疵」および「焼入れ工程で発生する焼割れ」を発生させない安定した製造プロセスの確立を目指して、鍛造中の表面疵の抑制手法および焼入れ工程での焼割れの抑制手法を検討・確立することを目的とした。

鍛造工程における表面疵の抑制手法では、「鍛伸工程」および「曲げ工程」を対象に、前者は鍛造割れについて、後者はかぶさり疵についての抑制方法の検討・確立を試みた。焼入れ工程における焼割れの抑制手法では、大型鍛鋼品のポリマー焼入れ工程を対象に、「焼入応力」、「冷却特性」、および「焼入材料」という3つの観点から、焼割れ現象に対するアプローチを行い、焼割れの抑制手法の検討・確立を試みた。

以下に本論文の内容を要約して示す。

第1章では序論として、大型鍛鋼品の製造工程において表面疵および焼割れが解決すべき重要な課題であることについて示し、表面疵および焼割れに関する従来までの取り組みと本研究の目的及び意義を述べた。

第2章では、大型鍛鋼品の鍛伸工程で発生する表面割れの抑制を目的に、表面割れの発生挙動および鍛伸工程で使用する金型形状の適正化による割れ抑制手法を提案した。まず、実工程調査から割れの発生時期(温度・圧下量・発生箇所)を明らかにした。また、対象鋼種の熱間加工性を確認し、割れ発生時期が熱間加工性に優れる領域であることを確認した。そこで、割れ発生部位の材料変形

挙動に着目し、実験および数値解析を行った結果、鍛造面の金型オーバーラップ部において、割れの発生起因となる表面凹みが発生することを確認した。さらに、金型形状に着目し、表面割れ発生起因である鍛造面で発生する凹みを抑制するため、金型形状が凹み発生に及ぼす影響について検討し、金型端部形状の適正化が表面割れの起因となる鍛造面の凹みの抑制に効果的であることを明らかにした。

第3章では、大型クランクローなど成形する際に行う、鍛造厚板の熱間曲げ工程でのかぶさり疵の抑制を目的に、曲げ工程で発生するかぶさり疵の発生挙動を明確にし、かぶさり疵の発生しない実工程を確立した。その中で、かぶさり疵が鍛造厚板表面に存在する初期欠陥を起点に発生およびその長さが成長することを実験的に確認した。この結果から、初期欠陥の発生を抑制する鍛造厚板の成形方法への製造方法の変更を実行した。また、曲げ工程の変形不具合によって生じるかぶさり疵を抑制するため、鍛造厚板寸法と金型寸法の関係を適正化することで、曲げ工程の変形不具合を解消できることを実験的および実工程で確認した。これにより、大型クランクロー実工程におけるかぶさり疵の抑制を実現し、材料歩留まりの向上を可能とした。

第4章では、大型鍛鋼品のポリマー焼入れ工程での焼入応力解析の適用による焼割応力の定量化を目的に、大型軸材の焼入れ実験と焼入応力解析を行い、材料の変態特性、機械的特性、熱物性のデータを採取し数値解析を活用することで、大型鍛鋼品における焼入れ工程においても焼入材の残留応力を比較的精度良く推定できることを明らかにした。また、焼入れ応力解析の結果、フランジ部での焼割れ発生位置と半径応力最大値の発生位置が良く一致しており、半径方向の焼入応力が焼割れ発生に大きく影響を及ぼしていることを明らかにした。

第5章では、大型鍛鋼品のポリマー焼入れ工程でのポリマー水溶液の経年使用に伴う冷却特性の変化と冷却特性の変化が焼入応力に及ぼす影響を明確にすることを目的とした。その中で、4章で確立した焼入応力解析を用いて分析し、経年使用による冷却特性の変化が焼入応力の増大に寄与することを明らかにした。また、焼入応力増大に及ぼす冷却特性の変化が350℃以下の温度域における緩冷却特性の低下であること、さらに、その要因がポリマー水溶液の低分子量化によることを明らかにした。これにより、一般的にポリマー水溶液の管理として提唱されていた濃度管理ではなく、分子量観測がポリマー水溶液の管理を行う上で、重要なポイントになることを明らかにした。

第6章では、大型鍛鋼品の焼割れ発生に及ぼす大型鍛鋼品の成分偏析帯の影響を明らかにすることを目的に、成分偏析帯と焼割れ発生の関係を明らかにし、さらに、成分偏析帯を考慮した焼割れ抑制手法を提案した。その中で、成分偏析帯で焼割れが生じやすく、特に鋼材表面に偏析が露出する場合に、その影響が大きいことを実験的に明らかにした。そこで、鋼材表面に偏析を露出させない場合に焼割れ抑制が可能であるかを確認するため、大型軸材の焼入れ実験を行い、焼入応力解析にて焼入応力を検証した結果、高い引張の焼入応力が鋼材内部の偏析位置に発生する場合でも焼割れが抑制できることを確認した。これにより、焼入れ形状検討時の機械加工取り代やその前の鍛造形状設計にて、偏析帯の位置を考慮した工程設計を行うことが重要であることを明らかにした。

第7章では本論文を総括した。