

氏 名	加 藤 昌 彦 かとうまさひこ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論工博第 2077 号
学位授与の日付	昭和 62 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
学位論文題目	急速加熱・冷却による硬質鋼の切断に関する基礎的研究

論文調査委員 (主査) 教授 小門 純一 教授 藤中 雄三 教授 井上 達雄

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、硬質鋼材の切断位置にあらかじめ環状切欠きをつけ、その部分に高周波誘導加熱による急速加熱と水流による急速冷却とを施すことにより、切欠き底に軸心に直角で十分な深さのき裂を発生させた後、機械的折断を行う鋼材切断法に関するもので、序論、結論を含めて 6 章からなっている。

第 1 章は序論で、熱間鍛造用素材を棒鋼から機械的に折断する場合の問題点を解決するために行われた本研究の目的と意義が明確にされている。

第 2 章では、直径が 38～70 mm の高炭素クロム軸受鋼の切欠き底にき裂を発生させるための加熱・冷却条件が実験的に検討されている。すなわち、素材径が 50 mm 以上の場合には、1 回の加熱・冷却操作で折断に十分なき裂が生ずるが、小径の場合には、互いに異なる条件の加熱・冷却操作を連続して加える反復法が必要であり、いずれの方法においても鋼材の単位表面積当りに与えられる加熱電力がある範囲にある時のみ、目的とするき裂が発生することが明らかにされている。さらに、本折断法による折断片と通常の冷間せん断片との形状および重量ばらつきを比較した結果、本折断法による方が折断面の平坦度およびその中心軸に対する直角性も良好で、しかも、重量ばらつきも小さく、鍛造時の歩留りもよくなることが明らかにされている。

第 3 章では、前章で求められたき裂発生条件の下で急速加熱・冷却が施された切欠きなし鋼材に発生する残留応力および硬さ分布の測定結果から、き裂発生の原因となる残留応力の発生機構が解析的に論じられている。すなわち、1 回法の場合のき裂発生は、急速加熱により生じた表面層の降伏に起因して発生する冷却時の軸方向の引張応力により、反復法の場合のそれは、第 1 回目の操作で鋼材の表面に形成された焼入れ層が、第 2 回目の操作により硬さ Hv が 400～550 程度に組織変化を伴って焼もどされることにより生ずる表面付近の大きな引張応力によるものであることが明らかにされている。

第 4 章では、第 3 章で求められた残留応力分布の測定結果に基づいて、同じ条件により処理された切欠きつき鋼材の切欠き底断面における残留応力が有限要素法により解析されている。すなわち、切欠きなし鋼材の有限要素モデルに、測定された応力分布を発生させるための初期ひずみ分布が逆算により求められ、

この初期ひずみを切欠き鋼材のモデルに与えることによって、切欠き底断面の応力分布が計算されている。また、この計算により、き裂の進展深さは、き裂先端から一定距離 $\epsilon$  ( $\neq 0.1$  mm) 離れた部分の計算応力値が鋼材の真破断応力値とほぼ等しくなる深さであることが明らかにされている。

第5章では、1回法によりき裂を発生させて折断する場合について、切欠きのない鋼材に生ずる熱応力の時間的変化が、弾塑性有限要素法により求められ、第2章において述べられたき裂発生時期との対応が検討されている。き裂は加熱後の水冷却中に音を発して発生するが、その時期は鋼材表面付近の軸方向引張応力がほぼ最大となる時期に一致していることが明らかにされている。

第6章は結論で、本研究で得られた成果の要約と今後に残された問題点が指摘されている。

### 論文審査の結果の要旨

熱間鍛造用素材は、通常、冷間で機械的せん断により棒鋼から所定の長さに切断される。しかし、太物の硬質鋼の場合には、軟化熱処理により所要せん断力の低減が計られているが、切断面と軸心との直交性および切断面の平坦度が十分でないため、据込み時に不具合が生じやすい。本論文は、圧延まま鋼材の切欠き底に急熱・急冷操作を施すことによりき裂を発生させ、所要折断力の低減と端面形状の改善を計ることを目的とし、加熱・冷却条件とき裂発生の有無との関係を実験的に求め、また、弾性および弾塑性有限要素法による解析により、この関係に理論的根拠を与えたもので、得られた主な成果は以下のようである。

1. 直径が50 mm以上の鋼材の場合には、高周波誘導加熱により、鋼材表面温度を $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態点直下まで急速加熱した後、直ちに水で急冷することにより、切欠き底に折断に十分な深さのき裂を発生させることができる。一方、直径50 mm以下の小径の鋼材の場合には、1回目の加熱・冷却操作により一旦鋼材表面に焼入れ層を形成させ、この焼入れ層をビッカース硬度が400～550になるように焼戻す急速加熱・冷却操作を反復して加える必要のあることが見出された。また、両者の場合についてき裂発生に必要な加熱・冷却条件が実験的に明らかにされている。

2. き裂の発生した鋼材の破断力は、き裂のない場合の約10%にまで低下し、その破断面の形状も優れていて、据込み時の不具合が解消され、熱間鍛造歩留りが大幅に向上した。

3. 平滑鋼材の加熱・冷却部中央の軸方向残留応力がX線応力測定法により求められ、焼入れ層が形成されない場合には、鋼材表面の残留引張応力は最大40 kgf/mm<sup>2</sup>に達すること、これに反し、焼入れ層が形成される場合には約100 kgf/mm<sup>2</sup>の圧縮応力が発生するが、これに焼もどし操作が加わると、この圧縮応力は約100 kgf/mm<sup>2</sup>の引張応力に反転し、寸法効果によりき裂の発生しにくい小径の鋼材にもき裂を発生させるものとなることが明らかにされた。

4. 切欠き底断面上の応力分布が有限要素法により弾性計算され、き裂先端部の軸方向引張応力は、き裂の進展とともにその値が大きくなり、ある最高値に達した後、減少すること、また、実験結果との対比により、き裂はその先端から0.1 mm深部の応力が母材の破断応力に等しくなる位置まで進展することが明らかにされた。

5. 急速加熱・冷却により材料内部に発生する応力の時間的変化が弾塑性有限要素法により求められ、

加熱期間中、圧縮応力であった表層付近の応力状態は、冷却開始とともに引張応力状態となり、その値は冷却時間とともに増大し、最高値に達した後減少すること、この最高値は加熱時間とともに大きくなるが、やがてほぼ一定値に落ちつくことが明らかにされた。この結果から最適所要加熱時間が求められ、実験的に求められた加熱条件の妥当性が解析的に検証された。

以上要するに、本論文は、熱間鍛造用鋼材の切欠き底にき裂を発生させるための急速加熱・冷却条件を実験的に求め、その妥当性を解析的に検証し、折断荷重が小さく破断面形状の良好な硬質鋼材の切断法を確立したもので、得られた成果は工業上、学術上寄与するところが少なくない。よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和62年7月23日論文内容とそれに関連する事項について試問を行った結果、合格と認めた。