

氏名(本籍)	熊 沢 鐵 雄 (長野県)
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 3 2 0 号
学位授与年月日	昭和 4 7 年 3 月 2 4 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)機械工学専攻
学位論文題目	鉄鋼切欠材の低温変形挙動におよぼす変形速度 の影響
論文審査委員	(主査) 教授 鈴木 正彦 教授 横堀 武夫 教授 玉手 統

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

鉄鋼材料の変形および破壊におよぼす変形速度の影響を明らかにすることは構造物，機械設計上，また成形加工上重要である。

従来の研究では変形速度の影響は応力-ひずみ曲線，破壊応力，伸び，断面減少率等の量の変化として扱っているにすぎない。破壊は完全脆性破壊以外は常に塑性域の発生を伴うものであるから，破壊に到るまでの塑性域の発生，伝播の状態を解析することによって変形，破壊におよぼす変形速度の影響が明らかにされる。

本研究は，このような観点から，室温から低温領域まで，低速から高速までの変形速度範囲で，低温光弾性皮膜法を用いて鉄鋼切欠材の塑性流動および破壊におよぼす変形速度の影響を明らか

にした。さらに、その結果に基づいて鉄鋼材料の延性におよぼす温度と変形速度の影響を検討した。

第2章 実験方法

実験に供試した鉄鋼材料はS M 4 1 Bである。低温領域で塑性流動を連続的に観察するために採用した実験方法について述べた。

変形速度は万能引張試験機により、クロスヘッド速度で0.005 mm/minから500 mm/minの範囲のほか、落錘型の衝撃試験による落錘の速度30000 mm/minである。

光弾性皮膜材料としてはNarmco樹脂およびエポキシ樹脂を使用し、これらの皮膜材料を用いた光弾性皮膜実験によるひずみ解析の場合に問題となる皮膜材料の諸特性の検討を行なった。

第3章 塑性流動



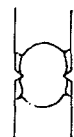
この章では、鉄鋼切欠材の降伏からひずみ硬化段階にわたる塑性拘束状態の変形速度依存性を論じた。また、塑性伝播形態におよぼす温度と変形速度の影響を解析した。

鉄鋼切欠材の変形開始から破壊までの変形挙動の特性は変形が先行する非拘束部と、変形が拘束される最小断面部のひずみおよびそれらの比で把握されることが明らかになった。高温、低速では塑性拘束部と非拘束部のひずみの比は破壊までに2つの極大値を示し、最初の極大値は全断面降伏時におこり、後の極大値はひずみ硬化段階でおこった。最初の極大値の大きさ、および極大値をとるときの荷重の大きさは与えられた温度と変形速度で変化し、温度を下げた場合と変形速度が速い場合とでは塑性拘束状態は類似の傾向をもつことがわかった。温度が低く、変形速度が速い場合にはひずみ硬化段階における極大値をもつ以前に破壊に到る。さらに温度が低いか、又は変形速度が速くなると最初の極大値、即ち降伏時で破壊する。この時が全断面降伏と破壊が一致する遷移現象である。この遷移現象を与える温度は種々な変形速度で実際に求められた。

試験温度および変形速度を変えた場合、温度と変形速度の組み合わせによって同一の塑性伝播形態が発生することが観察された。同一の塑性伝播形態が発生する温度と変形速度の組み合わせの条件の下では塑性伝播形態は降伏開始から破壊まで同じ塑性伝播形態を示す。これを特に平滑部降伏の時点でいろいろな塑性伝播形態を示したのが第1表である。表中の模式的に示された塑性伝播形態をI, II, III, IV型と名づけ、このようなI~IV型の塑性伝播形態が発生する温度を T_{gI} , T_{gII} , T_{gIII} , T_{gIV} とした。ここでIV型は平滑部降伏と破壊が一致する場合である。

第4章 温度と変形速度に関する検討

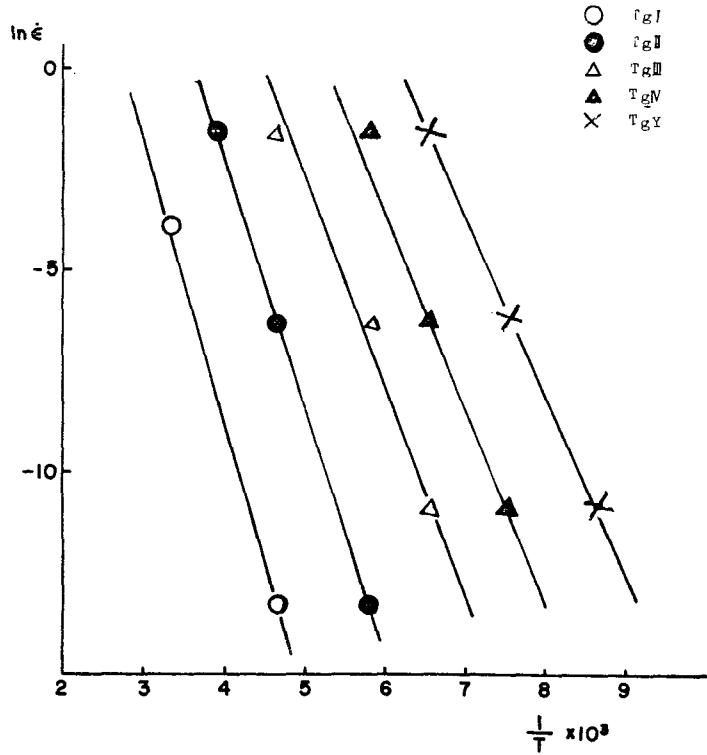
第1表 平滑部降伏時の塑性伝播形態の分類

	Type I	Type II	Type III	Type IV
Gross Yield Pattern				Fracture at Gross Yield
Temperature and Cross Head Speed	$\begin{cases} 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ 50 \text{ mm/min} \\ -60 \text{ }^\circ\text{C} \\ 0.005 \text{ mm/min} \end{cases}$	$\begin{cases} -20 \text{ }^\circ\text{C} \\ 500 \text{ mm/min} \\ -60 \text{ }^\circ\text{C} \\ 5 \text{ mm/min} \\ -100 \text{ }^\circ\text{C} \\ 0.005 \text{ mm/min} \end{cases}$	$\begin{cases} -60 \text{ }^\circ\text{C} \\ 50 \text{ mm/min} \\ -100 \text{ }^\circ\text{C} \\ 5 \text{ mm/min} \\ -120 \text{ }^\circ\text{C} \\ 0.05 \text{ mm/min} \end{cases}$	$\begin{cases} -100 \text{ }^\circ\text{C} \\ 500 \text{ mm/min} \\ -125 \text{ }^\circ\text{C} \\ 5 \text{ mm/min} \\ -140 \text{ }^\circ\text{C} \\ 0.05 \text{ mm/min} \end{cases}$
Designation of Temperature	T _{GI}	T _{GII}	T _{GIII}	T _{GIV}

本章では、延性から脆性への遷移現象を生ずる温度と変形速度との間に成立する Arrhenius 型の関係を基にして、前章で分類した塑性伝播形態における温度と変形速度の関係の検討を行なった。次に塑性伝播における温度と変形速度の関係から延性におよぼす温度と変形速度の影響を論じたものである。

第1表に示した塑性伝播形態が起る温度と変形速度、および全断面降伏と破壊が一致する現象における温度 (T_{GY}) と変形速度との間には第1図に示す直線関係が絶対温度の逆数と変形速度の対数の座標上で成立することを明らかにした。即ち、これらの関係は $\ln \dot{\epsilon} = C_0 - H/kT$ で表わされるものである。ここに C_0 は定数、 k はボルツマン定数、 H は活性化エネルギーである。この事は平滑部降伏現象においても、Arrhenius 型の関係が温度と変形速度の間に成立していることを意味している。第1図中の直線は、それぞれの塑性伝播形態について示されたもので、それらの活性化エネルギーは直線の勾配で与えられる。この活性化エネルギーの値は、全断面降伏と破壊が一致する場合、平滑部降伏時の塑性伝播形態IV型、III型、II型、I型の順序で 0.40 eV, 0.46 eV, 0.52 eV, 0.54 eV, 0.61 eV と増加することがわかった。この活性化エネルギーの増加の傾向は降伏応力の活性化エネルギーも同様に増加すること、並びに Wilshaw および Pratt の曲げ試験結果からも妥当性が与えられた。

塑性伝播形態における温度と変形速度の Arrhenius 型の関係から延性を論ずるため延性



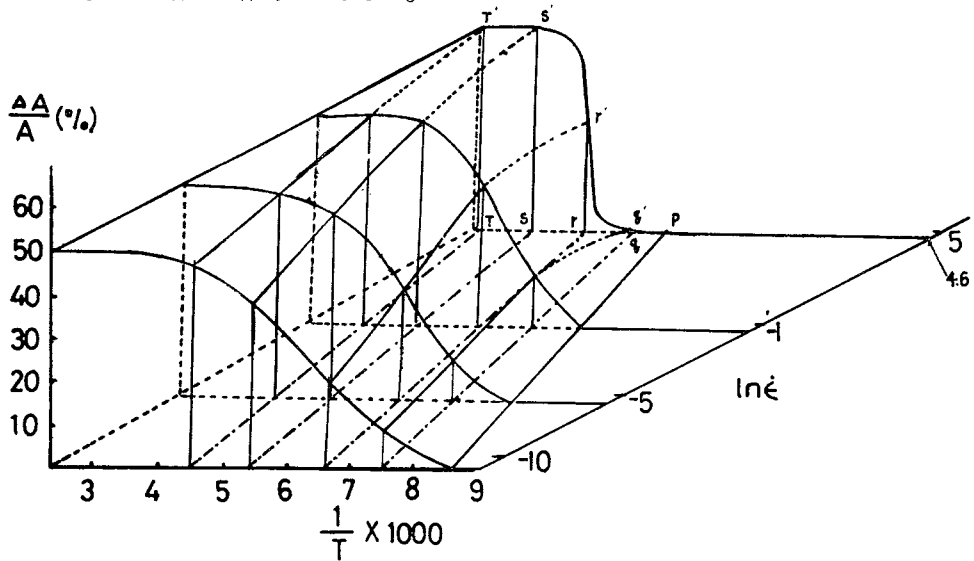
第1図 塑性伝播形態における温度と変形速度の関係

をあらわす量として断面減少率を取り上げた。

第1図に示されたそれぞれのArrhenius型の関係が成立する温度と変形速度の組み合わせの下では、前章で述べたように、破壊まで同じ塑性伝播形態を示し、同一のArrhenius型の関係が成立する。それゆえ第1図に示される温度と変形速度の二次元座標系であらわされたそれぞれの塑性伝播形態に対するArrhenius型の直線上で垂直に三次元軸として断面減少率をとったのが第2図である。断面減少率を連結した曲線群は1つの断面減少率の曲面を形成する。即ち、第2図は断面減少率におよぼす温度と変形速度の表示を立体的に描いたものである。第2図中の変形速度が最も大きい結果は落錘による衝撃試験結果である。断面減少率の曲面は低速側では断面減少率が零からゆるやかに増加し、飽和しているのに対し、高速側では急激な変化を示している。これはArrhenius型の直線が高速側では密になっていること、言い換えれば活性化エネルギーの増加の傾向と一致している。

以上より延性をあらわす断面減少率の立体図形から、延性におよぼす温度と変形速度の影響が低速から衝撃に到るまで概観的に把えることが可能になった。さらに、切欠材の延性をあらわす量として拘束が最も厳しい切欠部最小断面中央部の主ひずみ差を用いて主ひずみ差におよぼす温

度と変形速度の影響を立体的に表示した。



第2図 断面減少率におよぼす温度と変形速度の影響

第5章 結 論

低温光弾性ひずみ解析を高速変形領域における材料試験に実施することにより鉄鋼切欠材の塑性拘束状態の温度および変形速度依存性を明らかにすることができた。

平滑部降伏時の塑性伝播状態における温度と変形速度の間に Arrhenius 型の関係が成立することを導き、それらの塑性伝播形態が起る平滑部降伏現象を活性化エネルギーの観点から検討することができた。

さらに、塑性伝播形態における Arrhenius 型の関係に基づいて、鉄鋼切欠材の延性—温度—変形速度の関係を立体的に表示する方法を提唱した。実際に延性をあらわす量として断面減少率および切欠部最小断面中央部のひずみを用いて、これらにおよぼす温度と変形速度の影響を定量的に明らかにした。これによって鉄鋼切欠材の延性の温度、変形速度によって与える影響が温度および変形速度の広い範囲にわたって概観的に把握された。

審査結果の要旨

鉄鋼材の変形挙動に及ぼす変形速度の影響を明らかにすることは、鋼材の機械的性質の評価の上で重要である。特に雰囲気温度が低い場合には安全性の上から変形速度の影響は十分考慮されなければならない。従来の研究では破壊と全断面降伏とが一致する場合には、変形速度と雰囲気温度との間には Arrhenius 型の方程式が成立すること、即ち破壊と全断面降伏が一致する現象は、律速過程に支配されるものであることが明らかにされている。しかし脆性遷移温度以上の雰囲気温度のもとでの変形速度の影響は、応力-ひずみ曲線、破壊応力、断面減少率などの量の変化としてとらえられているに過ぎない。本論文は鉄鋼切欠材について破壊に到るまでの塑性域の発生、伝播が変形速度および温度によっていかなる経過をとるかを連続観察することにより、変形挙動に及ぼす変形速度の影響を明らかにしたものであり 5 章からなる。

第 1 章は序論であり本研究の背景および目的を述べている。

第 2 章は実験方法である。室温から -196°C の温度領域で塑性ひずみを連続観察するために採用した低温光弾性被膜材、および実験装置について述べている。変形速度としてクロスヘッド速度 $0.005\text{ mm}/\text{Min.}$ から $500\text{ mm}/\text{Min.}$ の範囲内で引張試験を行なった外、ストライカー速度 $3000\text{ mm}/\text{Min.}$ で衝撃試験を行なっている。低温下での変形速度の影響をしらべるための光弾性実験としてははじめての試みである。

第 3 章は塑性流動の不均一性を明らかにしている。即ち塑性流動が拘束されない部と拘束される部とにおける主ひずみ差の比に注目し、これが変形速度に依存することを見出している。これより塑性拘束は変形速度が大きい程大きいことを明らかにした。さらに平滑部降伏時における塑性流動の形態に着目し、形態を 4 つの型に分類し、それぞれの形態は変形速度-雰囲気温度の組み合わせによって定まることを示した。

第 4 章では前章で得られた結果から、同一の型の塑性流動形態をしめすものでは、平滑部降伏は同一のみかけの活性化エネルギーをもつ律速過程であることを見出している。さらに鉄鋼切欠材の延性に及ぼす変形速度と温度との影響を明らかにするため、前章で分類して与えた平滑部降伏時の塑性伝播形態の型を考慮に入れて、断面減少率と温度、変形速度間の関係を立体図形であらわすことを提示した。また変形のもっとも拘束される点における平滑部降伏時の主ひずみ差、温度および変形速度間の関係を立体図形で与えた。これらはいずれも鉄鋼切欠材の延性に及ぼすひずみ速度、温度の影響を明確に、かつ概観的に与えるものであって、機械的性質の評価法として有用である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は鉄鋼切欠材の変形挙動の変形速度依存性を低温光弾性実験によって明らかにするとともに、延性、雰囲気温度および変形速度の関連性が立体図形で表示され得ることを示し、これによって変形速度の延性に及ぼす影響を明確にしたものであって材料強度学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合格と認める。