

2-28

軟鋼におけるリューダース帯の伝播

京都大学工学部
京都大学大学院田中吉太助
石川秀雄

1. 緒言

リューダース変形に関する研究のほとんどは、除荷後の静止したリューダース帯を調べることによって行なわれてきた。しかし、最近になって伝播中のリューダース帯と静止したリューダース帯ではその特性(たとえば歪分布、幅等)が異なることが報告されている。従って、リューダース帯に関する研究は静止しているのではなく動いているリューダース帯について行なう必要がある。本研究は応力塗料及び歪ゲージを用いて伝播中のリューダース帯の観察を行ない、その特性を調べたものである。

2. 試料及び実験方法

実験に供した軟鋼の化学成分は C 0.05% Si 0.02% Mn 0.32% P 0.012% S 0.014% である。図1は試験片の形状寸法を示す。試験片は機械加工後 740°C 1 時間の真空焼純を施した。得られた結晶粒径は 20 μm である。実験は室温(17~19°C)にて、インストロン材料試験機を用い図1のハッチ部分をつかみ引張荷重を加えて行なった。リューダース帯の伝播は応力塗料Cruxを用いて観察した。リューダース帯の歪の測定は塑性域用ゲージ(KFE-5-C1 又は KL-10-A4)を用いて行なった。又、その時得られた歪(ϵ)-時間(t)関係は記憶容量をもつ水銀7 bit 横10 bit の M-1300(岩崎通信機製)によって記憶し、時刻 t_n における歪変化率($\frac{d\epsilon}{dt}$) $t_n = \frac{\epsilon_{n+1} - \epsilon_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}}$ を求めるのに使用した。

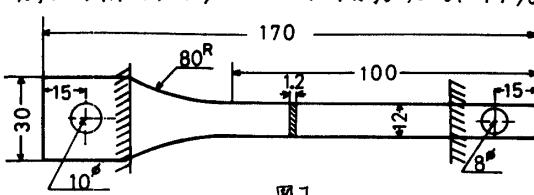


図1

3. 解析

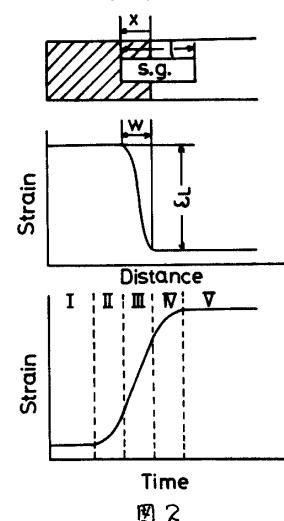
解析にあたって次の仮定をおく。ゲージは一様である(すなわちゲージの各要素は一定の大きさの入力に対して同じ大きさの出力を与える)。この仮定はゲージの端近傍を除いて正しく考えられる¹⁾。試験片の弾性歪は無視する。図2はリューダース帯の伝播、歪分布及び歪ゲージによって得られる歪(ϵ)-時間(t)曲線の概略を示している。 ϵ_L はリューダース歪、 w はリューダース帯の幅である。歪勾配 $\frac{de}{dx}$ を $f(x)$ とする。ここで x は図2に示すようにリューダース帯先端から歪ゲージ先端までの距離である。リューダース帯の伝播速度 V_B は器で表わされる。図2の II, III, IV の領域では次の関係がなりたつ。

$$\text{II) } \epsilon = \frac{1}{l} \int_0^x f(y) dy \quad \text{従て } \frac{de}{dx} = \frac{1}{l} \frac{df}{dx} = \frac{1}{l} f(x) \text{ より} \quad f(x) = \frac{l}{V_B} \frac{de}{dt} \quad (\text{II})$$

$$\text{III) } \epsilon = \frac{1}{l} \int_0^w f(y) dy + \frac{(x-w)}{l} \epsilon_L \quad \text{従て} \quad \epsilon_L = \frac{1}{V_B} \frac{de}{dt} \quad (\text{III})$$

$$\text{IV) } \epsilon = \frac{1}{l} \int_{x-l}^w f(y) dy + \frac{(x-w)}{l} \epsilon_L \quad \text{従て} \quad f(x-l) = \epsilon_L - \frac{l}{V_B} \frac{de}{dt} \quad (\text{IV})$$

(II), (III), (IV) を用いると伝播中のリューダース帯の歪分布・幅などを求めることができる。



尚、リューダース帯先端面と引張軸とのなす角 θ は(II),(IV)の場合に対して影響を受ける。しかし、KFE-5-C1を用いた著者らの予備実験ではリューダース帯のゲージ端からゲージ内への進入が1mm以内において、 θ が 90° の場合も 45° の場合も両者の出力は一致してくることが認められた。従って、式(II),(IV)はリューダース帯の先端近傍を除いてその伝播角度 θ によらず充分解析に有効であると言えう。

4. 実験結果及び考察

図3,4は引張速度 $L = 0.005 \text{ cm}/\text{min}$, $0.05 \text{ cm}/\text{min}$ の時の実験結果である。両図とも(a)は応力-時間関係を(b)はリューダース帯の位置(変形していない方の試験片端からの距離)-時間関係を(c)は歪ゲージから得られた歪-時間関係を(d)は歪ゲージから得られた歪の変化率($\dot{\epsilon}$)-時間(t)関係をあらわす。

図3(c),(d)と図4(c),(d)との比較から、伝播速度の大きいほどリューダース帯の後の加工硬化が大きいことがわかる。図5はリューダース帯の幅に及ぼす引張速度の影響を、

図3,4の(d)等から得られたリューダース帯の歪分布を直線で近似し縦軸をリューダース歪で無次元化してあらわしたものである。伝播速度が増大するほど伝播中のリューダース帯の幅は大きくなっている。図6は $L = 0.05 \text{ cm}/\text{min}$ で両端からリューダース帯が発生した時の実験結果であり、单一のリューダース帯の場合(図4)に比べて速度はほぼ半分になっている。図7は $L = 0.05 \text{ cm}/\text{min}$ でリューダース帯が1つの場合と2つの場合の歪ゲージによって得られた歪-時間関係及びそれらの歪分布を示している。

リューダース帯が2つの場合伝播速度は单一の場合の半分であるが、一方その歪勾配は2倍(図7(b))になっている。従ってリューダース帯内の歪速度 $\dot{\epsilon}$ は、 $\dot{\epsilon} = V_B (\frac{d\epsilon}{dx}) = \frac{V_B}{2} \cdot 2 (\frac{d\epsilon}{dx})$ からリューダース帯が1つの場合も2つの場合も同じであることがわかる。

文献

- (1) 渡辺理, ひずみゲージとその応用, p22 日刊工業新聞社

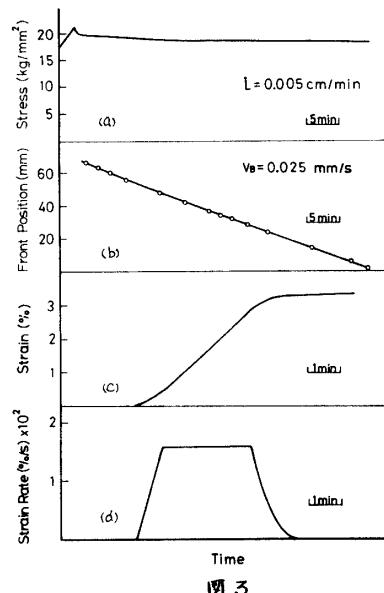


図3

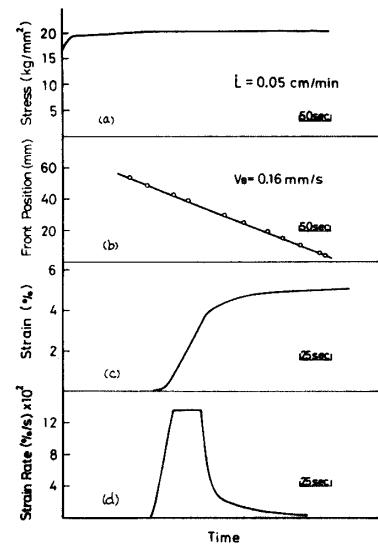


図4

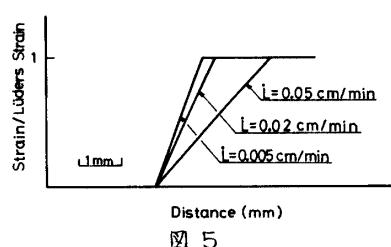


図5

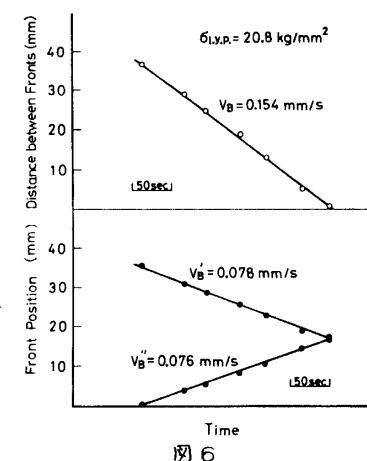


図6

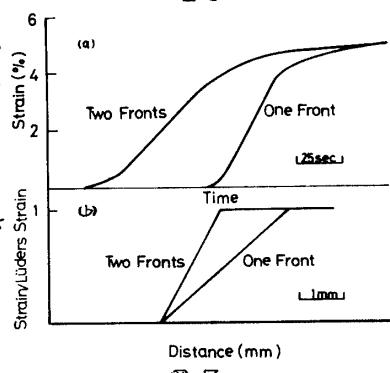


図7