

Brittle-to-ductile transitions and microstructural estimations in fully pearlitic steels

シリタナコーン, ティティ

<https://hdl.handle.net/2324/1543969>

出版情報：九州大学, 2015, 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 : Thiti Sirithanakorn

論 文 名 : Brittle-to-ductile transitions and microstructural estimations in
fully pearlitic steels
(フルーパーライト鋼における脆性-延性遷移挙動と組織評価)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

一般に結晶性材料は低温では脆く壊れ易い。これを低温脆性と呼ぶ。構造用材料を脆性的状態で使用することは極めて危険であるだけでなく、材料の加工プロセスの中でもしばしば大きな障害となる。ところで材料の使用温度が上昇すると、同一の材料でもその性質は延性的に変化する。これを脆性-延性遷移(brittle-to-ductile transition; BDT)と呼ぶ。そこで BDT を制御することは、材料の安全性や加工性にとって極めて重要である。BDT の制御因子については過去に多くの研究がなされて来たが、近年、とくに転位論的な立場からの基礎研究が活発化している。それは 1980 年代の R.Thomson らの転位によるクラック先端局部応力遮蔽効果に関する理論的研究に起源を発する。一方その実験的研究は、St. John, P.B.Hirsch, P.Haasen らによるシリコン結晶を用いた研究を中心に発展したが、近年はその応用範囲が広がり、鉄鋼材料の低温脆性の問題もこれによって議論されるようになってきた。具体的にはフェライト鋼の低温脆性が Ni 添加によって改善されるひとつの原因として、BCC 結晶中のラセン転位のパイエルス障壁が Ni 添加によって低下することが明らかとなって来ている。

ところで鉄鋼材料の中でも特に大きな引張強さを有する材料としてパーライト鋼が良く知られている。パーライト鋼はフェライトとセメンタイトの 2 相が相互に重なった層状構造を有する材料で、熱処理ままの材料（パテント材）をその後、線引きした加工線材では数 GPa という極めて高い強度を発現する。しかしながら 2 相からなるパーライト鋼がいかなる BDT 挙動を示すかは、殆ど明らかにされておらず、その転位論的理解も手つかずの状態である。また、パーライト鋼の組織は、上述のように、フェライトとセメンタイトの層状構造であり、その階層的な組織の中でもとくにそのラメラ厚さが強度に強く影響する。しかしその構造が 3 次元的な広がりをもつため、ラメラ厚さの定量的評価には一般に多くの労力と時間を必要とするのが現状である。

そこで本研究では、速度可変型の衝撃試験機を用いて、パーライト鋼（パテント材、線引き材）の衝撃吸収エネルギーの温度依存性、試験速度依存性を測定し、BDT の律速過程を議論した。またこれと合わせて、化学腐食で浮き上がらせたラメラの 2 次元像から、パーライト鋼を構成するフェライト、セメンタイトの真のラメラ厚さを、簡易に定量評価する方法を提案した。

以上本研究の目的は、パーライト鋼の BDT 挙動を明確化するとともに、そのラメラ構造の簡易な組織評価法を確立することである。なお、本論文は全 5 章で構成され、それぞれの概要は以下のとおりである。

第 1 章では、BDT に関する過去の研究状況、そしてパーライト組織とそれに関係する力学的性質についての過去の研究を示し、これをもとに本論文の目的を述べた。

第2章では、パーライトパテント材を対象として、そのBDT挙動を詳しく研究した結果を述べた。まず、衝撃吸収エネルギーの温度依存性を、衝撃速度を3種類に変えて測定した。一般のフェライト系鉄鋼材料の衝撃吸収エネルギーの温度依存性では、低温側では吸収エネルギーが低く一定でないいわゆる **Lower shelf** が現れた後、温度上昇とともに急激に吸収エネルギーが上昇する遷移領域が出現し、さらに温度が上昇しても吸収エネルギーがあまり変化しない、いわゆる **Upper shelf** が現れる。すなわち遷移現象は全体のBDT挙動の中で一度に限られる。しかし、今回用いたパーライトパテント材では、温度上昇に伴い一度吸収エネルギーが増加後、一旦吸収エネルギー一定の平坦な領域が現れた後、さらに2度目の吸収エネルギーの増加が見られる、**2 step transition** の現象が見出された。2つの遷移温度の変形速度依存性をアウレニウスプロットすることで、遷移の活性化エネルギーを求めたところ、低温側の遷移の活性化エネルギーは 0.16eV 、高温側の遷移の活性化エネルギーは 0.78eV となった。低温側遷移の 0.16eV はフェライト中の転位移動の活性化エネルギーとほぼ一致しており、第一段の遷移現象はフェライト中の転位移動度が律速していると考えられる。また第2段の遷移の活性化エネルギーの値はそれに比べ極めて高く、セメンタイト中の転位移動が律速している可能性があるが、これについてはさらなる研究が必要である。

第3章では、パーライト鋼の単純なエッチング組織のSEM像からフェライト、セメンタイトラメラ厚さを正しく簡便に見積もる方法を提案した。ここでは、(1)フェライトラメラの真の厚さの平均値(2)フェライトラメラの真の厚さの標準偏差、(3)セメンタイトラメラの真の厚さの平均値(4)セメンタイトラメラの真の厚さの標準偏差、(5)フェライトとセメンタイトの境界を決める像の明るさの閾値、の5つを可変パラメータとして、データフィッティングを行い、実験的に観測されるラメラ厚さに最も良くフィッティングする値として真のラメラ厚さを決定した。

第4章ではまず、線引き加工したパーライト鋼のBDT挙動を調べた結果について述べた。ここでも温度上昇に伴い2度にわたって遷移現象が発生する **2 step transition** が確認された。しかしながら、線引き加工のひずみ量が小さい領域では、明確な **2 step transition** が消失し、広い温度巾を持った一段だけの遷移領域が出現する場合も見出された。その原因を究明するため、3章で提案したラメラ厚さ評価法を用いて、その組織解析を行った。その結果、加工ひずみが少ないときには、ラメラ厚さの標準偏差が極めて大きく、組織に大きな不均質性のあることが明らかとなった。すなわち、そのような組織的な不均質により2つの遷移段階の温度に大きなバラツキを生じたため明確な **2 step transition** が消失したと考えられる。

第5章では本研究で得られた知見を総括した。

以上本研究では、パーライト鋼のBDT挙動における **2 step transition** という特異な挙動を見出すと共に、そのようなBDT挙動を支配するパーライト鋼のラメラ構造の簡易な組織評価法を提案した。