



Title	鑄鋼溶接部脆化域の研究
Author(s)	安藤, 見
Citation	大阪大学, 1965, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/28977
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名・(本籍)	安	藤	見
	あん	どう	あきら
学 位 の 種 類	工	学	博 士
学 位 記 番 号	第	8 2 5	号
学位授与の日付	昭 和 40 年 12 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	鑄 鋼 溶 接 部 脆 化 域 の 研 究		
論文審査委員	(主査) 教 授 美馬源次郎		
	(副査) 教 授 足立 彰 教 授 茨木 正雄 教 授 三谷 裕康 教 授 稔野 宗次 教 授 岡田 実 教 授 大西 巖 教 授 渡辺 正紀		

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は大形鑄鋼の溶接に際して必然的に発生するいちじるしい脆化域について研究を行ない、脆化域の発生原因を明らかにすることによって、その防止対策を提案しているものであって、10章よりなっている。

第1章は緒論であって船体用大形鑄鋼の溶接に際して溶接割れが溶接脆化域に頻発したという著者の経験ならびに、大形鑄鋼の溶接継手の引張試験あるいは曲げ試験に際して、脆化域において脆性的な破壊を生じた事実を挙げて、大形鑄鋼にはいちじるしい脆化域が出現する可能性があることを指摘し、大形鑄鋼の溶接に当ってはこの脆化域の防止対策を確立する必要がある、本論文の目的もこの点にあることを強調している。

第2章では、大形鑄鋼試験材の試験溶接継手脆化域において実際に発生した溶接割れの状況について述べこの溶接割れが脆性的なへき(劈)開割れであり、大形鑄鋼の溶接部の脆化域では、極度の脆化が起こるので、溶接に際してこの熱歪によって容易に溶接割れが発生する可能性のあることを確認している。溶接部に発生する溶接割れについては多くの研究が行なわれているが、脆化域に生ずる溶接割れについて触れているものは全く見当たらないようであって、脆化域割れをも、溶接割れの一種類として考慮すべきことを提唱している。

第3章、第4章においては、鑄造のまま大形鑄鋼試験材から切り出した種々の板厚の溶接試験板を用いて溶接条件が脆化域の脆性にどのように影響するかを論じ、要するに脆化域での比較的低温に於ける冷却速度が大なるほど脆性はいちじるしくなり、冷却速度と脆化域の脆性との間に良好な相関性が存在することを明白にしておき、第7章のX線分析結果ならびに電子顕微鏡観察結果と相まって比較的低温で溶接熱応力で生じた塑性歪が脆化機構の主要因であるとする推論の根拠となっている。

第5章においては焼なまし、焼ならし、焼入れ焼もどし処理によって組織を変えた鋳鋼材の溶接脆化域の脆化の度合について研究を進め、同一条件の下で溶接した場合の脆化の度合は、母材のフェライト結晶粒径の大なるものほど、いちじるしいという事実を明らかにしている。そして第3章、第4章において明らかにした事実すなわち脆化域の冷却速度大なるほど脆化の度合はいちじるしくなるという事実と、本章において明らかにした事実すなわち母材のフェライト結晶粒径大なるほど脆化の度合が大となるという事実とが、大形鋳鋼において殊にいちじるしい脆化域が生成される主要因であると考察している。

第6章では、脆化域から採取したマイクロ引張試験片によって求めた脆化域の降伏点について研究を行ない、脆化域では母材原質部よりも降伏点が上昇していることを確かめ、さらに *patch* の関係を適用して脆化域における降伏点上昇傾向を解析して、脆化域においては主として運動転位に対する摩擦応力 (Friction stress) σ_i の上昇によって降伏点が上昇していることを明らかにし、また脆化域の $\sigma_{i(0)}$ の値と、溶接に際しての低温での冷却速度との間に良好な相関性が存在することを見出し、さらに、 $\sigma_{i(0)}$ と結晶粒径 d と遷移温度 T_c との間に

$$1/T_c = C_1 - C_2 \ln \sigma_{i(0)} d^{1/2} \quad (1)$$

なる実験的關係が存在することを明らかにしている。そして脆化生成の主原因は、転位相互間の干渉などの作用による摩擦応力の増大にあるとの解釈を下している。

ついで第7章においては上述の溶接脆化域についてX線回折および電子顕微鏡観察を行なって、脆化域においては回折線巾が広がっていることを確認し、その事実から脆化域には歪が存在しているとの考察を進め、さらに電子顕微鏡レプリカ観察においては脆化のいちじるしい脆化域のフェライト粒に限って円丘状もしくは円盆状の凹凸が見られることを見出し、別に準備した予歪を与えた純鉄試料に対してレプリカ観察と直接観察とを同時に行なって、上記の円丘状もしくは円盆状凹凸は強度に塑性変形せしめられたフェライト粒に転位のセル・ストラクチャーが構成されたときに、そのフェライト粒の鏡腐食面にセル・ストラクチャーに対応して出現するものであるとの実験的考察を進めている。そしてまた、鋳鋼試験材を常温ならびに $250 \sim 300^\circ\text{C}$ で塑性変形させた場合について脆化の度合と電子顕微鏡レプリカ観察との比較検討を行なうことによって、常温加工の場合には引張歪が約10%以上にならなければ円丘状凹凸はほとんど観察されないが、 $250 \sim 300^\circ\text{C}$ での加工の場合には引張歪3%によっても、多量の円丘状凹凸が見られることを明らかにし、それに対応して高温加工の場合の方が、歪量に対応する脆化の度合が遙かに大である事実を述べ $250 \sim 300^\circ\text{C}$ という高温で与えられた塑性歪によってはセル・ストラクチャーが構成されているか転位の増殖の度合が大きいかのいずれかであって、このような理由により、転位相互の干渉による σ_i の増大がいちじるしくなるのであろうと推論している。

第8章においては、Cottrell の与えた延性 \leftrightarrow 脆性遷移条件式を発展せしめて、シャルピー衝撃試験における遷移温度 $T_{c(c)}$ と常温の引張試験における $\sigma_{i(0)}$ ならびに結晶粒径 d との間に

$$1/T_{c(c)} = \frac{1}{K_2 + K_4} \left\{ \ln \frac{\beta \mu K^3}{k_y} + \frac{K_2}{T_0} \right\} - \frac{1}{K_2 + K_4} \ln \sigma_{i(0)} d^{1/2} - B \ln \frac{\dot{\epsilon}(c)}{\dot{\epsilon}(t)} \quad (2)$$

ここに

$$\begin{cases}
 \dot{\epsilon}_{(c)} \dot{\epsilon}_{(t)} : \text{それぞれシャルピー試験及び引張試験における歪速度} \\
 B : 1/T_c = A - B \ln \dot{\epsilon} \\
 \mu : \text{剛性率} \\
 K_2 : \sigma_i \doteq K_1 e^{-\frac{K_2}{T}} \quad \text{ただし } T \text{ は温度 } K_1, K_2 \text{ は常数} \\
 K_4, K_4 : \gamma = K_3 e^{-\frac{K_4}{T}}, \text{ ただし } \gamma \text{ は有効表面エネルギー, } T \text{ は温度, } K_3, K_4 \text{ は常数}
 \end{cases}$$

なる関係が成立することを理論的に得ており、先に示した(1)式の実験式が理論的にもほぼ正しいことを立証している。そして脆化比が域較的低温にまで冷却したときの温度勾配によって生ずる熱応力によって塑性変形が行なわれ、この歪量に対応して転位相互の干渉による運動転位に対する摩擦応力の増大に伴って脆化が起るという機構が脆化域の脆化機構であるとの解釈を下している。

最後に第9章においては、前章までの研究によって明らかなにれた脆化域の性状ならびに生成機構に関する諸知識ならびに見解を基として粗大粒の大形鋳鋼の溶接に際しての脆化域生成の防止対策について研究を進め、第1に継手の溶接施工に当っては単位時間当りの溶接熱量の大きい溶接法、例えばテルミット溶接法などを利用して冷却速度を遅くすることを考慮すべきであり、第2に肉盛補修溶接の場合のように大熱量溶接法を採用できない場合には、脆化域の冷却速度を十分遅くできるような温度にまで予熱すべきであることを、実験的実証を挙げて提唱している。

第10章は結論であって、全体にわたっての総括を述べている。

以上要するにこの論文は大形鋳鋼の溶接に当っては、従来の概念では予想されなかったようないちじるしい脆化域の出現が、重要な問題であるとの見解に立ち、鋳鋼脆化域の性状ならびにその生成機構について主として溶接部の熱サイクルおよび金属物理学的視野に立って詳細に検討して、生成機構を明らかにし、その結果として今後の大形鋳鋼溶接施工に当っての、脆化域生成防止の見地からする対策を確立しているものである。

論文の審査結果の要旨

本論文は大形鋳鋼の溶接に際して発生するいちじるしい脆化域に関する研究と、その防止対策について説明しているものであって、10章より成っている。

第1章は緒論であって、大形鋳鋼の溶接に際してはいちじるしい脆化域が発生し、そのため脆化域において溶接割れが生じあるいは脆化域に沿って脆性破壊が生ずる可能性があることを実験事実を挙げて指摘し、大形鋳鋼の溶接に当ってはこの脆化域の防止対策を確立する必要がある、本論文の目的もこの点にあることを強調している。

第2章では大形鋳鋼の溶接継手の脆化域で実際に発生した溶接割れの状況を主として金相学的立場から検討を加え、その割れが脆性的なへき(劈)開型の破壊であることを確かめ、鋳鋼の溶接脆化域では溶接熱応力によって容易に溶接割れが発生するほど脆化していることを確認し、そして脆化域割れも溶接割れの一種類として類別すべきことを提唱している。

第3章、第4章では溶接条件が脆化域の脆化の度合に及ぼす影響を論じ、要するに種々の溶接条件

は溶接熱サイクルの冷却速度に影響し、脆化域での比較的低温における冷却速度と脆化域の脆性との間に良好な相関性が存在していることを見出している。

第5章においては鋳鋼母材の組織が溶接脆化域の脆化の度合に及ぼす影響を論じ、母材のフェライト結晶粒径が大なるほど脆化の度合がいちじるしい事実を明らかにし、第3章、第4章に述べた事実すなわち脆化域での冷却速度が大なるほど脆化の度合はいちじるしいという事実と相まって、大形鋳鋼において殊にいちじるしい脆化域が生成される主要因であると考察している。

第6章は脆化域における降伏点の挙動とその挙動に関して理論的説明を行なっている。脆化域では母材原質部よりも降伏点が増していることを確かめ、さらに Petch の関係を適用して脆化域における降伏点上昇傾向を解析して、脆化域においては主として運動転位に対する摩擦応力 (σ_i) の上昇によって降伏点が増していることを明らかにし、また脆化域における σ_i の値と低温での冷却速度との間に良好な相関性が成立することを見出し、さらに σ_i と結晶粒径 (d) および遷移温度 T_c との間に比較的良好な関数関係が成立することを実験的に明らかにした。

第7章は溶接脆化域に対する主として物理冶金的な検討結果に関するものであり、X線回折の結果脆化域では回折線巾が広がっていることから脆化域には歪が残留しているとの考察を進め、電子顕微鏡によるレプリカ観察においては脆化域のフェライト粒に円状凹凸があらわれ、別に塑性歪を与えた純鉄試料における検討結果からこの円状凹凸は著しく塑性変形したフェライト粒内に構成されたセル・構造に対応して出現するものであると考察している。また一方鋳鋼試験材を常温および約 300°C で塑性変形せしめて検討を加え、常温加工の場合よりも高温加工の場合の方が同一歪量に対応する脆化の度合が大であり、かつ、円状凹凸の構成が容易に起こることから、セル構造が構成され易いと推測し、このような理由によって、溶接脆化域では 300°C 付近の比較的低温での塑性変形によって転位相互の干渉による σ_i の増大が生ずるのであると推論している。

第8章においては Cottrell の与えた延性——脆性遷移条件式を演算して σ_i と d および T_c との間の相関関係を理論的に導き、先に第6章において示した実験的相関性が理論的に正しいことを立証している。そして比較的低温にまで冷却したとき、溶接部付近の温度勾配によって生ずる熱応力によって、塑性変形が行なわれ、それに伴って転位相互間の干渉による σ_i が増大し、そのために脆化が起こるのが、その生成機構であると解釈している。

第9章は脆化域の防止対策に関する提案であって、第1に粗大粒の大形鋳鋼の溶接に際しては、例えばテルミット溶接法などのごとく単位時間当りの溶接熱量の大きい溶接法を利用して冷却速度を遅くすべきであり、第2には充分な温度にまで予熱することによって冷却速度を遅くすべきであることを実証を挙げて提唱している。

第10章は結論であって以上の研究成果を総括している。

鋳鋼が溶接構造物の部材として使用される傾向が漸増しつつある現在、本論文は鋳鋼溶接施工上の最も重要な問題の一つは脆化域の生成であることを適確に指摘し、かつ脆化域の防止対策を確立し、もって今後の鋳鋼溶接工事に対する基本的な指針を与えており、溶接技術発展のための大きな功績である。なお本論文に述べられている研究成果は要約して次のごとくである

- 1) 大形鋳鋼の溶接部にはいちじるしい脆化域が出現し、そのために脆化域において溶接割れが発

生することを明らかにするとともに、溶接割れの分類の中に脆化域割れを加えるべきであることを提唱していた。

2) フェライト結晶粒径の微細なものほど脆化域は出現し難いことを明らかにし、脆化域の脆化傾向と結晶粒径との関係の明快な相関性を見出した。

3) 脆化域における降伏点の上昇傾向について新らしい実験事実を見出し、その傾向と脆化域の脆化傾向の結晶粒径依存性から脆化域の脆化機構について新らしい解釈を試みた。

4) 電子顕微鏡レプリカ観察にもとづきフェライト粒内にあらわれる円状凹凸はフェライト粒内に構成されたセル・構造に対応するものであると提唱した。

以上のごとく本論文では大形鋳鋼の溶接施工における脆化域の重要性を明らかにするとともに脆化域の生成機構について詳細な検討を加え新らしい解釈を試みるとともにその防止対策を確立提唱し溶接工学上に大きな貢献をしている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。