

鋼塊に生ずる白點の成因に就て

(日本鐵鋼協會第十七回講演大會講演 昭和十二年四月)

本多光太郎*

廣根徳太郎**

Ni3% Cr1%, C 0.3%内外を含む鋼は強く且靱性を有するにより多量に兵器に使用される。然るに大なる鋼塊では内部に多數微小なる裂罅(ヘアー・クラック)が存在して使用に不適當なことがある。かゝる鋼塊を破壊して其の破面を見れば不規則な形を有する裂罅が現はれる。この裂罅の中には周圍よりも白く丸味を帯びた二、三の點を見ることがある。之が所謂白點で多く裂罅の一部に見出される。裂罅生成の順序より云へば先づ比較的高温度(約350乃至450°C)にて裂罅を生じ、後低温度(200°C以下)で裂罅内の未だ引離されずに残る部分が瓦斯壓力によりて引裂かれ其の断面は微細なる結晶粒より成る白點として現はれるものと考へられる。故に白點の成因は裂罅の成因を研究することに歸着する。

扱て此の問題を解決するには主原因と副原因とに區別するのが便利である。主原因とは裂罅を生ずる直接原因の意味で副原因とは間接原因のことである。裂罅の直接原因は内部應力である。應力無くしては裂罅の生成は不可能である。従て問題は如何なる種類の應力が實際裂罅を生ずるかを研究するに歸着して、問題は非常に簡單化する。副因は單に應力が作用するとき裂罅を生じ易からしむる材質内の弱點、例へば夾雜物の存在、氣胞、偏析等の如きである。言ひ換れば主原因は裂罅を生ずるに必要にして缺くべからざるものであるが副原因は單獨にそれのみにては裂罅を生じ得ないものである。然し同時に主原因の作用あるとき始めて裂罅の發生を見る。

先づ主原因なる應力の起原として次の三つが考へられる。

- (1) 熱應力。
- (2) 變態應力。
- (3) 吸收瓦斯特に水素の應力。

若し鋼塊が内外一様に冷却すれば少しも熱應力及び變態應力を生じない筈であるが大塊では冷却の際内外温度を異にするにより是等應力の發生を見るべきである。圓柱形鋼塊についての計算の結果によれば變態の存在するとせざる

との二つの場合に於ける兩應力は中央部は常に張力で外側部は壓力であるが鋼塊が常温まで冷却せる後は兩應力の大きさは大なる相異はない。然し變態が圓柱の内部に進行する時期に於ては中央部に於ける前の場合の應力は後の場合の應力よりも著しく大で此の時期に於ては最も裂罅を生じ易い。ニッケル・クロム鋼の速い冷却の場合には變態は450乃至350°Cの間に生ずるから此の附近を冷却するとき裂罅を生じ易いから注意を要する。

一般に鋼の水素吸収度はジープルトの研究によれば温度の下降と共に減少する故に高温度で鋼内に吸収されたる水素は鋼の冷却するに従て放出せられ鋼内に存在する極めて微細なる小孔に集りて大なる壓力を鋼に及ぼす。計算の結果によれば此の壓力は小孔の體積に反比例し體積小なる程大である。又此の壓力は200°C附近に極大點を有し之より温度が上昇するも或は下降するも壓力は著しく減少する。尙此の極大點は小孔の體積減少するに従ひ多少下降する。此の壓力は熱應力及び變態應力と一部相重りて裂罅を生ずる直接原因となる。若し熔鋼1瓦に付き水素が0.0023%丈け溶解し居たりとし、之が冷却して凝固せる後水素の一部が0.1mm³の小孔に集ると考ふれば200°Cに於ける孔内の壓力は360kg/mm²となる。今小孔の形を球とすれば球面上の切線應力即ち球面を裂く應力は此の壓力の1/2即ち180kg/mm²となり小孔面を裂くに充分である。然し此の應力は小孔の體積及び初の溶解水素の量によつて著しく變化する故に上記の値は單に應力の大きさの程度を示すものとしなければならない。以上水素の壓力は約200°Cに於て最大となるが故に裂罅の一部は此の温度附近に生じて所謂組織の微細化せる白點を生ずるものと考へられる。しかし白點によつては試片を破壊する時に生ずるものもあるらしい。

一般に鋼塊内に作用する張力は裂罅を生じ易きも壓力は裂罅を生じ難い。前記の熱應力及び變態應力は鋼塊の内側に於ては共に張力で外側に於ては壓力である。従て裂罅は内側に生じ易い理であるがムサッチ及びレギオリ兩氏及

* 東北帝國大學總長 ** 東北帝國大學金屬材料研究所

び荒木及び小林兩氏の實驗の結果も此の結論の正きを裏書してゐる。

若し前記水素の壓力の $1/2$ が鋼の抗張力を超るときは裂罅は次第に擴大する。然るに裂罅の體積の大なるに従ひ孔内の壓力は次第に減少するが故に小孔の體積は一定の度を超ることは出来ない。之は多數の微細裂罅が鋼の内部に出来る理由を説明してゐる。

鋼内には水素以外に種々の瓦斯が存在して同様の作用をするが之等の瓦斯の鋼内に於ける擴散度は水素に比すれば著しく小なるが故に裂罅の成因に及ぼす是等の瓦斯の影響も亦小である。

炭素鋼のニッケル・クロム鋼よりも白點即ち裂罅を生じ難い理由の一つは變態の際の體積變化の小なると且つ變態點が 700°C 附近の比較的高溫度にあるによる。即ち鋼は他の金屬の如く高溫度にて粘性變形を伴ふが故に變態の際大なる應力を生じ難い。又その應力は變態點低きニッケル・クロム鋼の場合よりも小で裂罅を生じ難い。

次に裂罅が鋼の大塊に生じて小塊に生じ難いのは (1) 小塊に於ては冷却の際内外溫度の差比較的小なること (2) 高溫度に於ては鋼内に於ける水素瓦斯の擴散速度は頗る大なるが故に小塊では外部に逸出する量多きこと等による。計算の結果によれば鋼塊の形が長き圓柱なるとき單位時間に外部に逸出する水素の量は圓柱半径の自乗に逆比例する故に鋼塊の半径の小なるに従ひ含有水素の量は著しく減少し従つて小孔内の壓力も小となる。

前記ムサッチ及びレギオリ兩氏は先づ種々の鋼に水素を吸収せしめ次に之に種々の熱處理を施して後之を切断して裂罅の有無を調査した。其の結果によれば裂罅は含有水素によりて生ずる壓力に歸因するものとしてよく説明することが出来る。

オーステナイト鋼は變態點を有しないが、大鋼塊では内外の溫度差による熱應力を生じ中央部では常に張力、外側部では壓力が作用する。應力の大きさは溫度の下降と共に次第に増加するが、常溫に於ては變態點のある場合と略同一である。然しニッケル・クロム鋼の内側に變態の生ずるが如き溫度に於てはオーステナイト鋼内の應力はニッケル・クロム鋼内の應力に比して著しく小である。水素瓦斯の生ずる壓力もオーステナイト鋼の場合には溶解度の大なるためパーライト鋼の場合よりも小である。従て合成應力はニッケル・クロム鋼の場合よりも小であるから白點を生じ難い。

終りに副原因に就て一言する。以上は主原因に就て述べ

たが同一應力が鋼塊に作用する場合にも若し材質内部に何等かの弱點が存在すれば容易に裂罅を生ずるは明かである。即ち夾雜物の介在、氣泡、偏析等は材質の弱點となり裂罅の副因となる。

逆に裂罅の生成を避るには (1) 高温熔解と低温鑄造により健全なる鋼塊を得ること (2) 高溫度にて鋼塊を極めて徐々に冷却して含有水素の量をなるべく減少すること (3) 750°C 附近より 100°C 間を殊に徐冷して變態應力を減少すること等が必要である。又數多の裂罅を有する材料も高温鍛錬せる後緩冷すれば之を消失せしめ得ることは數多の實驗の示す所である。

又裂罅の存在を見るに試片を焼入焼戻するが便利であることは多數研究者の結果の一致する所であるが、焼入は空冷よりも一層急速の冷却であるから緩冷では裂罅を生じないですむ試片も焼入によつて裂罅を生じ得る筈であり、従て焼入焼戻による時は緩冷の場合よりも一層多數の裂罅を生ずべきである。焼入鋼は多少のオーステナイトを交ゆるマルテサイト組織を有し、又試片の内部にはパーライトを残す場合もある。然るに是等の組織は各其の比體積を異にするが故に變態の際組織の變化による應力を生ずる。従て前記の三應力の外更に内外組織の相異による應力をも生じ事柄は一層複雑となる。故に此の方法は裂罅生成を見るには便利であるが其の原因を探究するには不適當である。

以上を約言すれば白點の主原因は熱應力、變態應力、水素瓦斯應力等が一部相重なるによる。又白點の副因は材質内に存在する弱點例へば夾雜物の介在、氣泡、偏析等の存在である。故に白點の發生を防ぐには冷却の際に生ずる應力を最小にし且つ材質内の弱點を除くにある。

以上は従來本邦及び歐米に於ける數多の研究者によりて提出されたる諸學說を整理統一し且つ熱應力、變態應力、水素壓力及び其の擴散等に關する計算を施して説明を數量化するに過ぎない。

上の講演に對して依國一博士より下記の意見を寄せられた。

本多博士の御講演は特殊鋼材中に發生する白點の原因に就て綜合的に述べられたもので、判然と各種の實驗結果や意見を纏められ頗る有益なる御發表で篤く御禮を申度い。博士も述べられた如く此の問題に就ては日本學術振興會に於て特に第 19 小委員會を設けられ各方面から依頼せられた 22 名の方を委員とし種々研究調査中であります。従て委員其他の研究せられたものが自然と本協會の講演會を機會に發表せらるゝことになり既に今回も澤山の論文があります。私は第 19 小委員會の委員長を致して居ります關係から其會の仕事に就て茲に開陳することが適當と存じて以下申し添え

る次第であります。

委員會にては白點發生の原因を徹底的に探究せんと致して居ります。鋼材が水素を多量に含有せる場合に白點が生ずると云ふことは内外の實驗に依り動すべからざる事實と認めて居ります。併し他の變態熱の爲めに生ずる歪力をも考えに入れなくてはならぬので水素が此等に對し何程の影響を與えるものであるかを吟味する必要があります。それで項目を分けて述べますと

1. 白點の附近に偏析又は歪があるかに就て 之は分光分析又はX線分析の結果を觀ますと少許の量は殊に其の附近に集積すると云ふ事實も出ましたが 判然と表れませんが進んで一層X線にて研究することになりました。尙水素が白點附近に多いと云ふことは調査することが困難であるし 或は破斷した跡には水素は逃れて残らないものかも知れません。歪に關しては一層實驗が難しいのであります。

2. 白點の生じた時に水素が澤山集つて鋼材を破斷したか 之に就ては獨逸でシェンク等が計算し 又本多 廣根氏等が勘定をせられました。現に本日の御講演にもあります。併し水素が鋼材中より何程發生するかは尙實際の量的の數字は不明であります。普通 γ 鐵から α 鐵に移り換る時に澤山の水素がガス態と成つて追ひ出さるゝことは知られて居りますが 特殊鋼の場合に毎平方耗に 100 疋以上の壓を與える程に析出するかは今後の實驗結果に俟たねばなりません。殊に高氣壓の許ではガスは一層鋼材に吸収せられた儘残留するのが普通の考でシーベルトの式もありますから 高壓即一萬氣壓の掛る孔に尙且つ鋼から水素が追ひ出されて集まるかは 實驗に於て高壓の場合のガスの出入を吟味する必要があります。

3. 水素の爲に鋼の變態點が如何に變ずるか 特殊鋼に水素が入つて特に白點附近に集積して溶けて居ると考え其の鋼材を冷却する

時に變態點が何程移動するか 其の冷却の度合を變えて吟味する必要があります。變態の生ずる時の其の速さ 即鋼材の膨脹量殊に膨脹の起る速度 是が生ずべき歪力に大なる關係があります。

4. 水素の爲に鋼材の機械的性質が如何に變じたか 電解鐵でも水素がある爲に 甚だ脆いと云ふことは誰も承知して居ります。之を少し温めると水素が逃れ去る爲に粘りものになる。夫と同様に特殊鋼材に水素が集つて溶けた局部があるとすれば或は甚だ脆弱なるものと變じて少しの歪力が加わつても破斷することになりはしないかを充分に調査研究する必要があります。

以上の通りに考えますと 鋼材中の白點發生の原因に就ても 今後種々研究實驗を重ねなければなりません。而して水素の爲めに鋼材の局部の性質が變つたとする時は 或は焼入の爲に生ずる應力で一小部分に割れ即ち白點が生ずることもあり得ますので 普通に焼割れば鋼材の外周より割合に大きく出るものとの考は鋼材を一様の性質のものを見た上の話であつて研究が進まねば判りませんが局部が脆いものに成つて、其上に焼が入り易く成つたかも知れませんから 將來充分なる研究を要します。

之を要するに白點發生の原因を知る爲に澤山の勞力を費して居りますが 他方に於ては製鋼 鑄造 鍛錬作業中に鋼材の水素の量を減却する様に 現場に於て多大の努力を重ねられた結果は 着々と鋼材製品を改良せられつゝある現況で御座います。深く關係各方面の御協力を感謝して居る次第でありまして 本邦製鋼技術の改良發達に資する所があるものと信じます。終りに書き添えます此等の調査研究せられた結果は 多く鐵と鋼に發表せられますし 又第 19 小委員會報告として公にします目下報告Ⅲは印刷校正中で 報告Ⅳは原稿整理中で引き続き印刷に取りかゝります。