破壊領域観察にもとづく鉄鋼の水素脆化機構に関する研究(第2報)*

—マルテンサイト組織と水素脆化破面形態について—

菊田 米男** 荒木 孝雄** 黒田 敏雄**

A Study on the Mechanism of Hydrogen Embrittlement for Iron and Steel by means of Electron Fractography (Report 2)*

—Relationship between Martensite Structure and Fracture Morphology of Hydrogen Embrittlement—

by Yoneo Kikuta**, Takao Araki** and Toshio Kuroda**

The three-point bending strength of specimen (martensite structure) with hydrogen and hydrogen free and those fracture morphologies were investigated in relation to the prior austenite grain size, martensite lath size and unit fracture facet by two-stage replica method and E.S.M. The three-point bending test was carried out at room temperature and liquid nitrogen temperature.

The bending strength of specimen with hydrogen depended on prior austenite grain size and these fracture surfaces were observed remarkably secondary cracks along the boundary of martensite lath.

Therefore, the unit fracture facet for hydrogen embrittlement was defined the zone between secondary cracks.

The unit facet size for hydrogen embrittlement was smaller $1/2 \sim 1/4$ than unit facet size for cleavage fracture of specimen with hydrogen free at -196°C .

The fracture morphologies of hydrogen embrittlement at room temperature were different from the fracture morphologies at -196°C . At room temperature, the fracture surface of specimen with hydrogen was observed $QC_{H\theta}$ in $20\mu \sim 35\mu$ austenite grain size and intergranular fracture in $105\mu \sim 175\mu$ austenite grain size. But, at test temperature -196°C , its surface was observed clearly striation like pattern in every austenite grain size.

These results suggested that the fracture morphologies of hydrogen embrittlement were influenced by hydrogen diffusion and accumulation in lath boundary.

1. 緒 言

前報¹⁾にて遅れ割れ破面形態は負荷応力によって異なり、低温脆性破面形態とも異なることを明らかにした。

鉄鋼材料の低温脆性破面と組織との関連性については、従来より多くの研究がなされているが²⁾、水素脆化破面と組織との関連性についてはほとんど報告されていない。このような水素脆化破面の破壊領域観察は、水素脆化機構の究明に対しても非常に重要であり、また、工業的には破損の原因を追求するにあたっても有力な情報を得るものと思われる。そこで、本報告においては高張力鋼マルテンサイト組織について、前オーステナイト粒径を変化せしめ、それらと水素脆性ならびに破面形態と

の関連性さらに試験温度が常温および液体窒素温度での鋼中の水素の挙動と破面形態との関連性について検討を行なった。

2. 供試材料および実験方法

実験には 80 kg/mm^2 級高張力鋼を用い、その化学組成は、Table 1 に示すごとくであった。

まず、実験に先だって、組織(前オーステナイト粒)の調整は高周波誘導加熱により、最高加熱温度を 950°C 、 1050°C 、 1200°C および 1350°C の4種類に変化せしめ、それぞれの温度にて 15 sec. 保持し、その後ただちに水

Table 1 Chemical compositions of material used (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Al	Mo	V	Ti	B
17	.35	1.31	.021	.023	.32	.49	.26	.034	.42	.043	.015	.0026

*原稿受付 昭和49年10月21日(49年度春季全国大会に発表)

**正 員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering
Osaka University

冷処理を行った。得られた組織は焼入れマルテンサイトであった。

なお、組織調整に用いた試片は 11 mm 角、長さ 100 mm とし、熱処理後、Fig. 1 に示すごとく、三点曲げ試験に供するため、10 mm 角、長さ 100 mm とし、中央部に深さ 2 mm V 切欠を機械加工した。

Fig. 1 Test specimen

試片への水素添加は 0.2 A/cm^2 にての 3hr 陰極電解による。(収蔵水素量; 約 7 cc/100 g Fe) 電解液は 5% H_2SO_4 水溶液 (促進剤; 黄リン) を使用した。この場合、一般に、陰極電解により水素添加を行なうと、試片表面近傍にプリスターと呼ばれる表面マイクロ割れが生じ、これはよく知られた事象である。しかし、本実験では、その生成は 400 倍光学顕微鏡にて切欠部横断面を観察したが、マイクロ割れは認められなかった。このプリスターはフェライト+パーライト組織のごとき、比較的軟らかい組織では顕著に観察される。しかし、水焼入れマルテンサイトでは、微細硬化組織であるため、プリスターは生じにくいものと思われる。また、水素添加後一週間放置して、脱ガス後、その強度を求めると、破壊強度は水素添加しない場合の試片の強度と同一であった。さらにその破面形態を後述のごとく観察すると、いずれの場合も dimple 破壊であった。プリスターを伴った場合は、その破面形態が一種のラミネーション割れのごときするどい層境界分離型の破面となるが、そのような破面は観察されなかった。

次に、試片に所定の水素添加を行った後、1 mm/min の定たわみ速度にて三点曲げ試験を行った。三点曲げ試験は前報¹⁾にて記述したごとくである。この三点曲げ破壊強度は前報にて述べたごとく、割れ発生エネルギーおよび伝播エネルギーと直線関係にあり、このことから、本実験にても水素を含む材料の靱性を三点曲げ破壊強度 (以下破壊強度と記す) にて評価した。

三点曲げ試験にて得られた破面は、走査型電顕ならびに二段レプリカ法により割れ発生部 (切欠底部) および、割れ伝播部 (切欠底部より 3.5 mm 前方) を低倍率ならびに高倍率にて詳細に観察した。

破面の定量的解析は、破面単位の測定によった。すなわち、本実験における破面単位の大きさは、水素フリー材 (水素添加しない試片および水素添加後脱ガスした試片) の低温へき開破面にては、破壊の進行において不連続的に大きな tear ridge (引き裂き稜) によってつなが

った境界、および、破壊の進行方向が大きく変化した境界によって囲まれた領域と定義した。また、水素チャージ材の水素脆化破面については、後述のごとく、低温脆性破面の etar ridge 部に相当する部分が二次割れとなっており、この二次割れ間隔および破壊の進行方向が大きく変化した領域を破面単位と定義した。

破面単位として、その長径と短径の平均値を表わす荒木²⁾らの方法と、長径つまり Unit crack path (単位割れ長さ) を破面単位とする寺崎⁷⁾らの方法がある。本実験では、水素脆化破面と組織との関連性を検討するため、長径、短径を別々に長さ、幅によりそれぞれを表わした。破断経路は、破面にニッケルメッキを付し、損傷を防止し、その面に垂直な面をピクリン酸溶液にて腐食し、さらに 3% ナイタル液にて腐食を付し観察した。なお、前オーステナイト粒径は line intercept method³⁾ (交叉法) により測定した。

3. 実験結果

3-1 最高加熱温度と組織について

Photo. 1 は最高加熱温度を 950°C , 1050°C , 1200°C , および 1350°C に変化させた場合のマルテンサイト組織を示す。それぞれ Photo. 1 (a), (b), (c) および (d) に示す。前オーステナイト粒径は、 20μ , 35μ , 105μ および 175μ であった。それぞれ Photo. 1 (a), (b), (c) および (d) に示す。粒内は、マルテンサイト lath (ラス)

Photo. 1 Microstructure for martensite

に分割され、これらの lath が 6~10枚集まって1つのマルテンサイト colony (ラス群) の形成が認められた。さらに、前オーステナイト粒内は約 2~3 個のマルテンサイト colony が存在しているのが観察された。

Fig. 2 は、上記組織観察より、所定の熱処理にて得られた組織の前オーステナイト粒径、マルテンサイト colony 幅ならびにマルテンサイト lath 幅を示す。最高加熱温度が高いほど前オーステナイト粒径は大きくなるが、マルテンサイト colony 幅についても、その温度が高いほど大であった。マルテンサイト lath 幅は最高加熱温度が高くなるほど若干ではあるが広くなり、colony 中の lath 数も多く、colony 幅も広くなるものと考えられる。

近年、一般に硬化微細組織の靱性に対して lath size による評価が報告されているが、本実験では、水素を含む材料の場合上記組織的因子について後述のごとく検討を行なった。

Fig. 2 Variation of γ grain size, martensite lath width and colony width with max. heating temp.

3-2 前オーステナイト粒径と水素脆性

Fig. 3 はマルテンサイト組織における前オーステナイト粒径と三点曲げ破壊強度の関係を示した。プロット点は数点の平均値を示すが、許容誤差は数 kg/mm^2 のオーダーであった。まず、水素フリー材の常温破壊強度は各前オーステナイト粒の場合、それぞれ、 $240 \text{ kg/mm}^2 \pm 3 \text{ kg/mm}^2$ とほぼ一定であり、前オーステナイト粒径依

Fig. 3 Relationship between prior austenite grain size and fracture stress for martensite structure

存性 ($\log d_T$) は認められなかった。常温における水素チャージ材の破壊強度 (図中▲印) は、結晶粒度依存性が認められ、粒径が大なるほど破壊強度は低下し、水素脆性が顕著に生ずることが知られた。液体窒素温度における水素フリー材の破壊強度 (図中○印) は常温での結果とは異なり、結晶粒度依存性が認められた。

水素チャージ材の液体窒素温度での破壊強度 (図中●印) は水素フリー材と同様結晶粒度依存性が認められるが、その依存性は顕著であった。とくに、前オーステナイト粒径 105μ および 175μ では、試験温度、室温の場合と同程度の強度であり、かつ低いことが知られた。水素脆性が常温にて認められることは周知の事実であるが、このように液体窒素温度においても生ずることは、水素脆化機構を究明するにあたり興味あるものである。

3-3 常温における水素脆化破面

Photo. 2 は、結晶粒径 20μ および 175μ における水素フリー材の破面を示す。割れ発生部および伝播部とも dimple 破壊であった。dimple size は若干、組織の影響を受けて異っているが、あまり変化しないようであった。

Photo. 3 は水素チャージ材の割れ発生部における破面を示す。結晶粒径が 20μ および 35μ の場合は tear ridge が少なく、平滑な擬へき開破面であり、粒界破壊はなく、破面に垂直な二次割れが顕著に認められた。筆者らはこの破面形態を、通常の擬へき開破面または後述の

Photo. 2 Fractographs of hydrogen free specimen at room temp. fracture

- (a) γ grain size 20μ
(b) γ grain size 175μ

Photo. 3 Fractographs of hydrogen embrittled specimen (Crack initiation area)

- (a) γ grain size 20μ
(b) γ grain size 20μ
(c) γ grain size 35μ
(d) γ grain size 105μ

Photo. 5 に認められるごとく river pattern を伴うへき開破壊とも異なるため、水素特有の擬へき開破壊と呼び、QC_{HE} とした¹⁾。

結晶粒径が 105μ および 175μ においては、Photo. 3(d) に示すごとく粒界破壊が支配的で、脆性の平滑な破面であり、粒界にて二次割れが認められた。

Photo. 4 は上記水素脆化破面の破断経路の一例を示した。QC_{HE} (水素による擬へき開破壊) なる場合は Photo. 4(a) に示すごとくマルテンサイト lath 境界にて割れがギザギザとした形態を示し、二次割れは lath 境界にて認められた。なお、この二次割れは、応力腐食割れ等に認められる割れの枝分れとは異なるようであった。

Photo. 4 (b) は粒界破壊の破断経路を示す。結晶粒径

Photo. 4 Fracture profiles of hydrogen embrittled specimen at room temp. fracture (γ grain size 105μ)

- (a) Intermartensite lath fracture
(b) Intergranular fracture.

が大なる場合 (105μ および 175μ の場合) 前述の QC_{HE} とは異なり、このように完全な粒界破壊を呈するようであった。

3-4 液体窒素温度における水素脆化破面

Photo. 5 は水素フリー材の破面を示し、割れ発生部および伝播部とも river pattern を伴ったへき開破面であった。前述の粒界破壊形態は認められなかった。破面単位は結晶粒径の大なるほど大きくなり、破面単位の変化は Fig. 3 の三点曲げ強度の変化と一致しているものとして差支えないことを確認した。

Photo. 6 は水素チャージ材の割れ発生部での破面を示す。いずれの粒径においても、二次割れ形態は Photo. 1 の組織写真と比較すると、(特に Photo. 6 (c)) マルテン

Photo. 5 Fractographs of hydrogen free specimens showing cleavage fracture (Testing temp. -196°C)

- (a) γ grain size 35μ
(b) γ grain size 105μ

Photo. 6 Fractographs of hydrogen embrittled specimen showing striation in martensite lath (Testing temp. -196°C)
 (a) r grain size 20μ
 (b) r grain size 35μ
 (c) (d) r grain size 175μ

サイト lath 形態およびマルテンサイト colony とほぼ対応し, lath 境界にて二次割れが生じているようである。また, 二次割れ間, すなわち, lath 内部は lath 長方向に垂直な方向に striation 状模様(縞模様)が観察された。(Photo. 6 (a) および (d))

なお, これらの破面形態は, 上述のごとく常温における水素特有の QC_{HE} (Photo. (a), (b) および (c)) および粒界破壊 (Photo. 4 (d)) と同様に異なり, さらに, へき開破壊 (Photo. 5) と同様に異なり, それらに比して若干延性的な破壊形態と思われる。

4. 考 察

4-1 粒界強度と水素脆性

前項にて, 水素脆化破面形態は試験温度常温および液体窒素温度とにより異なることが明らかとなった。

試験温度が常温でしかも前オーステナイト粒径が 105μ および 175μ である場合, 破面は粒界破壊が支配的であり, その粒径が 20μ および 30μ の場合には破面は QC_{HE} となり, マルテンサイト lath 境界割れであった。これらの破面形態に影響を及ぼす因子としては, 粒径の大きさに依存する粒界強度, 粒内の変形能ならびに粒界, 粒内での水素の拡散, trap 等の微視的挙動が考えられる。すなわち, 実験にて, 所定の熱処理により, 材料内には組織的不連続部(前オーステナイト粒界および lath 境界)および変態歪等による欠陥部, 転位群(前オーステナイト粒界, lath 内および lath 境界)等の水素

に対して trap site となる個所が形成される。そのような材料内に, 陰極電解により水素は(現在, その存在位置は明らかではないが)それらの trap site ならびに lath 内部(素地)に添加され, 存在するものと考えられる。その後, 本実験では, 三点曲げ試験にてその強度を求め, その場合の破面を観察したのであるが, その破面形態は, この 1 mm/min のたわみ速度による三点曲げ試験中の変形時の転位の動きと水素の上記 trap site での離脱, 拡散, 再集積および素地中の水素の拡散などとの相互作用, さらに試験温度による変形能の変化および水素の拡散能の変化, すなわち, 常温では水素は拡散しやすいが, 液体窒素温度では拡散しにくいことなどが影響をおよぼすものと考えられる。

Fig. 4 は前述の破面形態の観察により, 水素脆化破面の特徴的形態を模式的に示した。試験温度常温にて前オーステナイト粒径 20μ および 35μ では, Fig. 5 (a) に示すごとく river pattern を伴わず, 二次割れ間が tear ridge となった QC_{HE} であった。二次割れは, 水素を含む場合にのみ認められ, 三点曲げ試験中, マルテンサイト lath 境界にてまず割れが生じ, その後, 応力集中の大きな粒内へと水素の拡散集積が伴ない lath 内を割れが拡大されていくものと考えられる。なお, QC_{HE} にて脆性的なフラットな領域は, 水素が破壊前に集積していたためと考えられ, その周囲は水素量が欠乏し tear

Fig. 4 Schematic representation of hydrogen embrittlement surface observed in present investigation

Fig. 5 Variation of unit facet size, martensite lath and colony with prior austenite grain size for martensite structure

ridge となったものと考えられる。したがって、常温にて水素が拡散集積した場合は Fig. 3 に示すごとく粒径 20μ , 35μ では強度は低い。しかし液体窒素温度では、lath 境界および lath 内部に水素が集積または固溶し、しかも固着した状態であり、前者より拡散集積はともなわず、tear ridge も認められずさらに強度は高くなったものと考えられる。

試験温度常温にて、前オーステナイト粒径 105μ および 175μ では、粒界破壊であったが、水素を含む場合の粒界破壊形態については、水素による特徴的破壊とは判断しがたい。B.V. Whiteson らは⁴⁾、hair line などが水素脆化破面の特徴としているが、粒界に沿うとは限らない。しかし、Photo. 3 (d) および Photo. 4 (b) に示すごとく、前オーステナイト粒径が大なるほど粒界破壊が顕著である。水素を含まない場合は Photo. 2 (b) のごとく dimple pattern を示したが、この場合は水素を含むことにより、粒界破壊を呈することは間違いないものと考えられる。また前オーステナイト粒径が大なる場合、液体窒素温度にて試験を行なうと、(Photo. 6 (d) のごとく破面は延性的な striation 状模様が観察され、常温での試験とは異なり粒界破壊はしなかった。このことから常温での鋼中の水素の作用は破壊に対して主要因であり、水素の粒界への拡散は粒界強度を低下するものと考えられる。

さらに、K. Yoshino⁸⁾, R.A. Oriami⁹⁾ は粒界に析出物が存在する場合より、水素が析出している場合の方が、粒界強度はより低いことが報じられている。しかし、それらの破面形態は通常の場合と水素による場合と類似しており、その区別は現在ではむづかしいものと思われる。

4-2 Striation 状模様について

次に試験温度が液体窒素温度である場合は、水素の拡散はほとんどおこらないとされており、その破面は Photo. 6 のごとく striation 状模様を示し、二次割れが認められた。Fig. 5(b) はその形態を模式的に示した。二次割れは上記のごとく、電解によって水素がマルテンサイト lath 境界に多量に集積し、曲げ試験中 lath 境界割れが生じやすい状態となり、割れが生じ、その後は水素が lath 内部の結晶面に位置する面に沿って割れが進行したものと考えられる。水素の存在位置については現在、確定的な結論には達していないが、Bastien ら⁵⁾ によると水素は八面体位置つまり 112 面上に位置するとされている。

次に、割れの進行にて、striation 状模様が観察されたが、疲労破面にては、結晶学的 striation と非結晶学的 striation の二者が観察されている。疲労破面の場合は繰返し応力が作用して、割れ進展速度と striation 間隔とは一次の関係にあることが認められている。本実験にては、 1 mm/min のたわみ速度で三点曲げ試験を行ったことにより、striation 状模様が観察されたもので、疲労の場合とは機構的に異なるものと考えられる。したがって、この striation 状模様の形成については次のごとく説明される。Bastien ら⁵⁾ の結果から、水素の存在位置を (112) 面上とすると、このすべり面に関連した slide plane decohesion (すべり面分離) により、不連続なすべり面に沿うはく離機構に関係し、若干延性的な破面となったものと考えられる。

しかし、前オーステナイト粒径 105μ および 175μ の場合試験温度が常温および液体窒素温度にての三点曲げ破壊強度は Fig. 3 に示すごとくいずれも、約 145 kg/mm^2 で同一であった。しかしながら、上述のごとく試験温度により破壊形態は異なるが、同一強度になること

はさらに十分な検討を要するものと思われる。

4-3 マルテンサイト組織における水素脆化破面単位

前項までにマルテンサイト組織における水素脆性破面形態の特徴ならびに低温へき開破面形態との相違について記述した。そこで、本項ではそのような破面形態と組織とを比較すべく、水素脆化破面単位について若干、検討を試みた。

近年、低温へき開破面にては、破面における有効結晶粒が提唱されて、前オーステナイト粒径とフェライト粒との間には相関関係にあり、フェライト+パーライト組織では破面写真より、破面構成単位はいくつかのフェライト粒を単位としていることが報告されている⁶⁾。またマルテンサイト組織についてはマルテンサイト lath 数枚が一つの破面単位となることが寺崎ら⁷⁾によって報告されている。さらにその破面単位は、(100)面を微小な角度内で共有する領域の大きさと定義され、それぞれの lath の方位が数度以内であれば(100)面に共有された破面単位となるとされている。その結果、通常の破面単位は tear ridge 間を測定することにより決定され、さらに前オーステナイト粒界および lath 境界などが tear ridge となり、組織と破面単位との対応は容易であり、このように通常の破面単位については広く、定義が確定されている。

ところが、水素脆化破面においてはその定義は全くなされていない。したがって、組織とその破面単位とを比較することは非常に困難である。すなわち、水素脆化破面では、Fig. 5 に示すごとく lath 境界にて二次割れが認められ、lath 内部に tear ridge が生じることから、上記の場合のごとく tear ridge が生じる lath 境界などにより、破面単位を決定し、それを組織と対応することは困難である。

そこで、筆者らは、上記の場合と同様に組織的に対応を計るべく、lath 境界に生じる二次割れ間を測定し、二次割れにて囲まれた領域をもって、水素脆化破面の最小単位とした。なお、この単位は、従来の tear ridge 間をもって、破面単位とした場合に対して、二義的な破面単位と定義した。

Fig. 4 は各結晶粒において得られた低温へき開破面単位と水素脆化破面単位と組織的因子との関係を示したものである。前オーステナイト粒径の増大とともに水素脆性ならびに低温脆性破面単位は増大する傾向が得られた。

低温へき開破面の場合、いずれの結晶粒径⁸⁾においてもほぼマルテンサイト lath 長およびマルテンサイト

colony 幅の $\frac{1}{2}$ を破面単位としているようであった。したがって、この場合マルテンサイト colony がさらに covariant packet (唯一の Kurdjumov-Sachs の variant で変態したマルテンサイト葉の束)を形成し、大傾角粒界となっている covariant packet を破面単位としているようである。

水素脆性破面の場合には、いずれの結晶粒径においてもマルテンサイト lath 幅、および、マルテンサイト lath 長の $\frac{1}{2}$ を破面単位としていることが知られた。

したがって、低温脆性破面にて細い tear ridge は、マルテンサイト lath 境界に沿うものとされている⁶⁾が、大きな heavy tear ridge を破面単位決定の目安としているのに対して水素脆化破面では、二次割れは全て均一な大きさで生じており、これを破面単位の目安としても差支えないものと思われる。

以上の結果から、マルテンサイト組織において、水素を含まない場合、および、それを含む場合の靱性および破壊強度は、低温脆性破面にてはへき開破壊を停止させる tear ridge の大きさ、および、へき開破壊領域の大小が影響を及ぼし、水素脆化破面にては、水素脆性特有の擬へき開破面、striation 状模様領域が影響しているものと思われる。

5. 結 論

本研究は、80キロ級高張力鋼の焼入れマルテンサイト組織について、常温および液体窒素温度での水素を含まない場合、ならびに、それを含む場合の三点曲げ強度および破面形態と組織的因子との関連性を検討した、得られた結論を要約すると、次のごとくである。

- (1) 80キロ級高張力鋼マルテンサイト組織の水素脆性は前オーステナイト粒度の大なるほど顕著にみられ、粒度依存性が認められた。
- (2) 水素脆化破面は二次割れが顕著に認められ、その二次割れは、マルテンサイト lath 境界に沿う割れであった。
- (3) 水素脆化破面の最小単位として二次割れ間をもって二義的に定義した。水素脆化破面単位は、低温へき開破面単位の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{4}$ 程度小さいことが明らかとなった。
- (4) 鋼中に水素が存在するか否かにより、常温および液体窒素温度での破面形態は異なる。水素が存在する場合は、常温では、 QC_{HE} となるが、粒径が大なると、粒界破壊となり、液体窒素温度にては straition 状模様を呈する。
- (5) これらの破面形態の変化は鋼中の水素の拡散、集積状態の影響を受けたものと考えられる。

謝 辞

本研究実施に際し、有益なるご助言、ご協力賜わった住友金属(株)中央技術研究所寺崎富久長博士に感謝の意を表します。なお、この研究の一部は、昭和48年度文部省科学研究費(奨励研究)によったことを記し、ここに謝意を表する次第であります。

参 考 文 献

- 1) 菊田, 荒木, 黒田: 破壊領域観察にもとづく鉄鋼の水素脆化機構に関する研究(第1報)—遅れ割れ現象と破面形態について—本誌 Vol. 44, (1975) No. 2.
- 2) 中島, 荒木; 中炭素 Ni-Cr-Mo 鋼のマルテンサイトおよびベイナイトの衝撃特性, 鉄と鋼, 58-4, (1972), 1993-2004
- 3) R.F. Bunshah: Techniques of metals research, inter-science publishers 2-1, (1969), 478
- 4) B.V. Whiteson, A. Philips, V. Kerlins, & R.A. Raue: Electron fractography, (1968), 151, ASTM STP 436
- 5) P.G. Bastien, P. Azou & J. Plusquellec: Compt. rend. 244, (1957), 1195
- 6) A.M. Turkalo: The morphology of brittle fracture in pearlite, bainite & martensite, Trans. AIME 218, (1960), 24-30
- 7) 大谷, 寺崎, 邦武: 高張力鋼の変態組織と靱性, 鉄と鋼 58-3, (1972), 434-451
- 8) K. Yoshino & C. J. McMahon, J. R.: The cooperative relation between temper embrittlement & hydrogen embrittlement in a high strength steel, Met. Trans. 5-2, (1974), 363-370
- 9) R.A. Oriani: Phys. Chem. 76, (1972), 848-857

1974年度版 国際溶接会議 (IIW) 提出資料の文献リストの頒布のお知らせ

IIWの16の委員会と1つのワーキンググループに提出された全資料の文献リスト, 1974年度版を頒布致します。■体裁 A 4 版 英文, 仏文, 青焼複写版, 43頁 ■頒価 2000円 ■申込先々文献サービス 東京都渋谷区千駄ヶ谷 3-3-4 〒151 電話03(478)4062 代金は, 三菱銀行新宿支店 生々文献サービス(当座) 9202993へお振込み下さい。

1974年度 国際溶接会議 (IIW) 文献集頒布のお知らせ

IIW 各委員会より, 下記の通り, 1974 年度版の頒布準備が完了致しました。ご希望の会員各位には, 案内書および申込書をお送り致します。なお, 本年度より, これら IIW の文献集は, 本会文献サービス係を担当する生々(せいせい)文献サービスにて, 取扱うことになりました。

記

- IIW 第II委員会(アーク溶接)文献集 1974年度版(頒価未定・頒布準備中)
- IIW 第IV委員会(特殊溶接法)文献集 1969年度版(11000円)1970年度版(15000円)1971年度版(15000円)1972年度版(3000円)1973年度版(15000円)全5巻1セット 特価(66000円)なお, 1974年度版は頒布準備中です。
- IIW 第IX委員会(溶接における冶金学的諸問題)文献集1974年度版(頒価未定・頒布準備中)
- IIW 第X委員会(残留応力と応力除去, 脆性破壊)文献集 1974年度版(黒焼版 19500, 青焼版16500円)
- IIW 第委員会(疲労試験)文献集 1974年度版(エレファック印刷 29500円 限定出版)
- 事務局 生々文献サービス 東京都渋谷区千駄ヶ谷 3-3-4 〒151 電話03(478)4062 代金は三菱銀行新宿支店, 生々文献サービス(当座) 9202993へお振込み下さい。