

鋼の熔接に對する酸素¹⁾及び窒素²⁾の影響

H. Cornelius: Einfluss von Sauerstoff und Stickstoff auf
das Schweißen von Stahl. VDI 84 (1940) 477/482

柏原方勝譯*

I. 酸素の影響

1. 熔接材中に於ける酸素

工業用鋼中の酸素の量は、その製法及び炭素量に關係し、0.004~0.10%の範囲を上下する。軟鋼を空氣中に於て熔接する場合、低溫で熔接された材料の示す酸素量は次の通りである。裸電極の場合は0.18~0.95%で平均0.20%である^{2), 3), 4), 5), 6), 7), 8), 4)}。被覆電極の場合は0.035~0.26%で平均0.10%である^{3), 4), 5), 7), 10), 11), 12)}。アセチレン酸素熔接の場合は0.007~0.06%で平均0.05%である^{2), 3), 7), 13)}。

低融熔接棒の酸素の高い事は、大概熔接部の強度を適當にするが、酸素の影響は一元的に説明する事が出来ない。何となればそれは屢他の不純物例へば窒素の存在と關聯するからである。又熔接に對する酸素の作用は、主として鋼に於ては、含まれる酸素の量でなくて、酸素が如何なる形で結合してゐるかに關係する。これに關しては、比較的少數の研究しかないが之を試みることは困難ではあるが最近に至つて可能であることが確實となつた。第1表に種々の電

第1表 種々の電極で熔接せる材料の成分
(S. L. Hoyt に依る)¹⁴⁾

熔接せる材料の成分、重量%	裸電極使用	被覆電極使用	セルローズで被覆した電極を使用
C	0.02	—*	0.08
Si	0.01	—*	0.23
Mn	0.09	—*	0.55
N ₂	0.17~0.19	—*	0.006~0.010
H ₂	0.0001~0.001	—*	0.0008~0.0014
O ₂ (FeOとして)	0.282	0.208	—
O ₂ (MnOとして)	—	極めて少量	0.010
O ₂ (SiO ₂ として)	0.0004	0.032	0.052
O ₂ (Al ₂ O ₃ として)	0.016	0.017	0.008
O ₂ 全量	0.298	0.257	0.070

* 不明

* 日本鋼管會社技術研究部

- 1) W. Spraragen u. G. E. Claussen. The effect of oxygen on the welding of steel. A review of the literature to July 1, 1937. Bericht des Welding Research Committee der Engineering Foundation, veröffentlicht als Beilage Zu J. Amer. Weld. Soc. 18 (1930) No. 1.
- 2) W. Spraragen u. G. E. Claussen. The effect of nitrogen on the welding of steel. A review of the literature to July 1, 1937. Bericht des welding Research Committee der Engineering Foundation, veröffentlicht als Beilage Zu J. Amer. Weld. Soc. 17 (1938) No. 4.

極で熔接せる材料の酸素の結合の仕方に關する結果を示す¹²⁾。裸及び普通の被覆せる電極で熔接せる材料の酸素含有量の主要なる部分は、鐵と結合し、主に小さい球狀化した介在物を形作る。これは熔接が行はれる時に、液狀から固體に析出する。鐵と結合せる酸素が固體の鐵に依つて熔解され得るか又はその量が幾許であるかに就ては、確かな説明がない。若し時效(析出硬化)が、主として酸素に依つて起るとすれば、酸素は鐵と結合してゐると云ふ事を假定せねばならぬ。セルローズ即ち炭素を含む材料で被覆した電極を用いた熔接材は酸素が低くて、主として珪素とマンガンと結合してゐる。この結合状態に於て酸素は又アルミニウムとも結合し、酸素は固體の鐵に依つて熔かされる事が出来ない。従つて時效を起さない。酸素は酸化スラッグを形成する介在物の量、種類及び状態に依つてのみ、熔接材料の性質に影響を與へる。第2表は純粋な熔接せる材料の酸素の結合状態と機械的性質とを示す。これより酸素の強度に對する影響から窒素の影響を切離す事が困難である事が判る。

二つの異なる電極を用いたる C, Si, Mn, S, P 及び N₂(0.08%)の量の等しい熔接せる材料は、或る場合は衝擊値が 4mkJ/cm² であり、他の場合には 10mkJ/cm² である。(衝擊値の高いのは結局熔接せる材料の珪素と結合せる酸素(珪酸介在物)の含有量が高い事に歸着する。それは0.073%のSiO₂を含み、低いものは僅に0.0095%のSiO₂を含むのみである。O₂の全體の量は夫々0.036及び0.062%であつた¹³⁾。

裸又は被覆せる熔接棒を用いた時の熔接に依る脆化は、一般に窒素の吸収に依ると書かれてゐる。然るに酸素の吸収も亦伸及び衝擊値を減少する⁴⁾。電弧で低融熔接した鋼の時效脆性に對し酸素の含有は責任がなければならぬ⁴⁾。一方酸素はその存在がアセチレン-酸素熔接の機械的性質を強く害する元素に屬してゐる。0.13~0.15%の酸素の含有は、熔接中に於て溝の繼目に破目を作らうとする傾向には影響しない¹⁵⁾。他方、酸素の多い繼目に於ける、破の裂目は細く分布した第一酸化鐵から出来る事が判つた¹²⁾。後者は必ず裸電極を用いた熔接の赤熱脆性の原因であらう。

未熟練がアセチレン-酸素熔接をした繼目には表面及び表面直下に酸素の介在物を含む、それは局部元素を作り軟鋼製の鹽素ガス容器の甚しき部分的腐蝕を起す⁴⁾。熔融物中に於てガスを形づくる作用は熔接繼目の孔の主なる原因となる。熔融物が液體の間は、作られたガスは逃げる事が出来る。ガスを作る作用が固まる時に起ればガスは金屬の中に残り小孔を作る。熔接に於ける孔の發生の重要な原因は、炭素からの酸化炭素の形成と、それに依つて還元される酸素が第一酸化鐵となつて固つた鐵中に生ずる事である¹²⁾。アセチレン-酸素熔接に於ける火花も少くとも同じ原因である¹⁵⁾。これらの發生は、熔接の際の熔接棒の急激な溫度の上昇に依つて認められる通り、そこで行はれる交換作用の烈しさに依るのである¹⁵⁾。

第 2 表 純粹の熔接した材料の酸素、窒素量及び機械的性質 (L. Reeve に依る⁹⁾)

電 極	低 融 で 熔 接 し た 材 料									抗張力 kg/mm ²	伸 (標 點 38mm)	アイゾツ ト衝擊値 kgm
	成 分					%						
	C	Mn	Si	N ₂	FeOとし ての O ₂	MnOとし ての O ₂	SiO ₂ とし ての O ₂	Al ₂ O ₃ と しての O ₂	O ₂ 全 量			
裸	0.02	0.09	0.014	0.181	0.282	—	痕跡	0.016	0.298	31.6~41.0	4~12	0.4~1.1
珪酸第一鐵で被覆	0.04	0.09	0.042	0.036	0.282	—	0.032	0.017	0.257	36.5~44.2	12~18	2.8~4.2
珪酸第一鐵及び脱酸劑で被覆	0.07	0.28	0.06	0.056	—	0.063	0.088	0.011	0.162	41.0~49.3	20~25	4.2~5.6
保護ガスを發生する被覆	0.07	0.54	0.25	0.010	—	0.006	0.036	0.01	0.052	44.3~50.6	25~35	5.6~8.4

鋼の異状組織の重要な原因として、北アメリカでは今日でも酸素の含有量を考へてゐるが、ドイツの研究では³⁾ 異状組織は、純度の高いものでも起る事を示してゐる。次に窒素はマンガン、クロムの如く、異状性を抑壓する元素に屬してゐない事が判つた⁴⁾ 窒素と同じ様な中立性の作用が酸素に於ても見られる。多くの酸素及び窒素を含むが、その他の元素の少い裸の電極で熔接した材料は異状である¹³⁾、¹⁶⁾。然しよく被覆せる電極を用ひた材料はさうではない。マンガンが充分な熔接した材料は通常である。

金屬の電弧で熔接した鋼と同様に、アセチレンの焔で熔接したのも、若し Mn が少くとも 0.4% 以上であれば通常の組織を持つてゐる¹⁶⁾。種々の外氣の下で裸の熔接棒を用ひた熔接試験を基礎として、酸素は窒素よりも異常組織に強い影響があると報告されてゐる¹⁶⁾。多分、酸素を含む外氣は Mn, Si 等の異状組織を避けしめる元素の焼減を促進させ、窒素を含む外氣はそれを完全にさけしめないであらう。

2. 熔 接 棒

熔接棒の許容の、即ち望ましき酸素の分量に關しては僅しか報告がない。裸の熔接棒では、非金屬介在物が増すと熔接の性質がよく、0.1% C, 0.3% Mn, 痕跡 Si, Fe=0.186~0.245% の介在物で満された断面を有する熔接棒は負極で熔接出来ない。0.02% C, 0.13% Mn, 痕跡 Si, Fe=0.835 のものは負極で熔接出来る。更に 0.08% C, 0.09% Mn, 痕跡 Si, Fe=3.16% の裸の熔接棒では、最もよい熔接性を示した⁴⁾。裸の電極で熔接せる材料の介在物の量は僅か 0.013~0.021% であつた⁴⁾。特に酸素の少い鋼は熔接棒として不適當である¹⁶⁾。他方アセチレン酸素熔接の熔接棒は、FeO の多い介在物を全然含まぬ事が望ましい。又珪酸介在物は缺陷となる⁴⁾。

3. 種々の熔接條件が熔接に於ける酸素の吸収に及ぼす影響

熔接の時の外氣と、電極の被覆とは、熔接に於ける酸素の吸収に著しい關係を有する。厚く套つた時に酸素の吸収は 50% だけ下るが、V 型継目の角を小さくとり、熔接箇所へ通ずる空氣の流入を困難にし、位置の数をへらすと、酸素の吸収は約 30% だけ減少する²⁾。被覆に Mn を加へると炭素を加へた時よりも酸素の吸収を妨げる事が著しい事が判つた。電極の重さの 25% に相當する 10% の Mn を有する被覆では全く酸素の無い熔接材料が出来る。又熔接棒の合金材として、Mn は熔接せる材料の酸素の量をへらす¹⁶⁾。熔接棒の炭素の量を 0.05% から 1.1% にますと、アセチレンの熔接及び金屬電弧(裸電極)の熔接の於て、酸素の含有量を約 50% へらす。説明は困難であるが、同じ作用が熔接棒が 1.75% の Ni を含んだ時にもある⁷⁾、¹⁷⁾。短い電弧(裸電極)は熔接に於ける酸素の

量をへらすのによい¹⁴⁾。電極の直径が増すと熔接せる材料の酸素の量は著しくへる¹⁵⁾。それは、電弧の長さが同じ時は、空氣に接する熔けた鋼の表面が電極から熔融物に移る時に、太い方が容積に於てよりよい關係があるからである。種々の熔接の速度と電流の強さに於ける酸素の吸収に關する發表は統一されてゐない¹⁸⁾、¹⁹⁾、²⁰⁾。熔接條件が熔接せる材料の酸素に及ぼす影響を徹底的に説明するためには、これまでよりも遙に多くの研究が必要である。

4. 酸素中に於ける熔接

酸素中に於ける電弧熔接では、裸の電極は完全に燃焼し²¹⁾、被覆せるものは 2/3 燃焼する²²⁾。軟鋼製の被覆せる熔接棒で熔接した材料は特に衝擊値が低い²³⁾。酸素は、鐵の電弧で熔接するときの外氣として、電弧を静かにし、又主として焼減りを得るために必要である²²⁾。一方に於て、酸素は電極にフィルムを形作る。それは、金屬の表面に對し、電極の發散をへらす事を知つた²⁴⁾。他方若し電極が金屬的に純で、即ち全く酸化フィルムを持たぬ時は、不純な水素中及び空氣中に於ては、鐵の電極の間の小さい壓力(0.1 mmHg) のために電弧が吸上げられる²⁴⁾。熔けた鹽のフィルムは、空氣中に於ける電弧の吸上げを妨げない。

文 獻

5) K. L. Zeyen, Stahlbau 11 (1938) Nr. 6 S. 41/46; Nr. 7/8 S. 59/64.
 6) Metallurgie 68 (1936) No. 10 FP. p. 17/23.
 7) G. E. Doan & W. C. Schulte, J. Amer. Weld. Soc. 15 (1936) No. 10 Supplement p. 5/11.
 8) L. J. Larson, J. Amer. Weld. Soc. 15 (1936) No. 10 p. 14/20.
 9) L. Reeve, Iron Steel Inst., Welding Symposium 11 (1935) p. 517/29.
 10) W. Kleinfenn, Carnegie Schol. Mem. 22 (1933) p. 97/133.
 11) F. R. Hensel & E. J. Larson, J. Amer. Welding Soc. 11 (1932) No. 4 p. 28/32.
 12) R. Hackert u. K. L. Zeyen, Techn. Mitt. Krupp 5 (1937) S. 22/31.
 13) M. R. Woirin, Bull. techn. Bur. Veritas 19 (1937) S. 14/18.
 14) S. L. Hoyt, Trans. A. S. M. 23 (1935) p. 61/84; G. T. Motok, Trans. A. S. M. 25 (1937) p. 466/80 u. p. 483/87.
 15) F. R. Hensel & E. J. Larsen, Trans. A. S. S. T. 19 (1932) p. 639/664.
 16) D. von Csillery u. L. von Peter, Elektroschweissg. 7 (1936) S. 46/53 u. 64/70.
 17) L. Losana, Metallurg. ital. 26 (1934) S. 391/403.
 18) A. Fry, Krupp. Mh. 12 (1931) S. 201/14.
 19) W. Hoffmann, Autog. Metallbearb. 20 (1927) S. 18/27 u. 33/37.
 20) F. Leitner, Arch. Eisenhüttenw. 7 (1933/34) S. 311/14.
 21) 岡本起・西村秀雄・片山博: 熔接誌, 7 (昭 12) 403/05.

3) F. Duftschmid u. E. Houdremont, Stahl u. Eisen 51 (1931) S. 1613/16; H. Cornelius, Arch. Eisenhüttenw. 8 (1934/35) S. 461/63.

4) H. Cornelius, Arch. Eisenhüttenw. 9 (1935/36) S. 367/68.

- 20) J. H. Paterson & H. Blair, J. Soc. Chem. Ind. **38** (1919) 328T/330T.
- 22) R. A. Hollan¹, Mech. Weld. Engr. **6** (1932) p. 201/07.
- 23) A. H. Goodger, Weld. Engr. **13** (1928) p. 39/43.
- 24) E. C. Shamovsky u. A. A. Prokorov, Avtog. Delo **7** (1930) Nr 4 S. 15/18 u. Nr. 10 S. 8/11.
- 26) S. W. Miller, Trans. A. S. M. **43** (1921) p. 199 bis 209.
- 28) C. Stieler, Stahl u. Eisen **58** (1938) S. 346/50.
- 29) L. W. Schuster, Iron Steel Inst., Welding Symposium **11** (1935) S. 640/43.
- 33) J. S. Johnson, J. Amer. Weld. Soc. **14** (1935) No. 7 p. 10/14.
- 35) E. Streb, Autog. Metallbearb. **25** (1932) S. 52/61.
- 36) E. Stursberg, Autog. Metallbearb. **30** (1937) S. 353/61 u. 369/80.
- 38) E. C. Hodge, Iron Steel Inst., Welding Symposium **11** (1935) S. 391/417.
- 39) A. Roux, Proc. 12th Int. Acet. Congr. (1936) S. 1177/82.
- 40) L. J. Weber, Trans. A. S. S. T. **11** (1927) S. 425/46; W. Zieler, Stahl u. Eisen **52** (1932) S. 236/39.
- 42) Autog. Metallbearb. **22** (1929) S. 243/55 u. 265/70.
- 43) F. Leitner, Z. V D I **80** (1936) S. 851/56.
- 44) A. J. Moses, J. Amer. Weld. Soc. **14** (1935) No. 4 S. 5/19.
- 47) A. Leroy, Proc. 12th Int. Acet. Congr. (1936) S. 600/05.
- 49) T. Swinden, Welding Industry **4** (1936) p. 427/35.
- 52) G. E. Doan u. S. Young, J. Amer. Weld. Soc. **17** (1938) No. 10 Supplement p. 61/67.
- 53) C. G. Suits, J. Amer. Weld. Soc. **17** (1938) No. 10 Supplement p. 35/38.
- 54) F. H. Newman, Phil. Mag., Ser. 7, **2** (1926) p. 796/99; (1938) No. 173 p. 187/88.

II. 窒素の影響

1. 鋼中の窒素

すべての工業用鋼は少量の窒素を含む。それは恐らく熔解中に外気より吸収せられ、冷却に際して大部分固溶體の中に保たれるものである。平爐鋼は 0.0015~0.008% の窒素を含み、トーマス鋼及びベセマー鋼は 0.01~0.03% を含んでゐる。平衡状態に於て窒素は鐵中に 1,600° に於て 0.04% 溶ける。固體の α 鐵は 600° に於て凡そ、少くとも 0.15% 窒素を溶かすが室温に於ては 0.01% か又はそれ以下の窒素を溶かすのみである。 α 鐵中に於ける窒素の固溶體は容易に冷却し得る。室温で放置すると、窒素は次第に分解して、時効と云ふ概念に含まれる現象の下に分解して準顯微鏡的大きさの窒化鐵を析出する(析出硬化)。150° では、完全なる時効は僅か 1~10h で充分である。長時間焼鈍するか又は高温に於て焼鈍すれば、顯微鏡で見る事の出来る窒化物が析出する。窒素の析出は、常温加工に依つて促進される。

顯微鏡で見えない窒化物の析出は甚しく鐵を脆化する。それは例へば、電解鐵の降伏點及び抗張力を著しく上げて高い伸及び絞りの値を實際上 0 まで減らす。これに反し窒素が、顯微鏡で見得る大きさ(多數の針)の時は、ねばきは僅かしか害されない。二三の元素例へば、Al 及び Ti の如きは鐵中に於て、窒素と全く結合しないか、又はほんの僅かしか溶けない窒化物を作り、窒素に依る鐵の時効性(析出性)を高める。

窒素の量が、フェライト中に於ける最大溶解度を越えてゐると、徐冷すると Braunit と云ふ共析晶を作る。これは窒素に富むフェライトと、窒化鐵から出来てゐる。700° 以上から焼入すると Braunit

の代りに Stickstoffmartensit が生ずる。

2. 熔接中に於ける窒素の吸収

以前には鋼の電弧熔接に於て窒素は最も重要な元素の一つであつた。裸電極の熔接に於て熔接された材料は多くの窒素を吸収し、従つて脆化した。出来のよいガス熔接はこの缺點を持たない。人々は電弧熔接に於て吸収せる窒素とそれに依つて生ずる脆化とを電極を被覆する事に依つて防止する事を知つた。今では窒素は偶然に於てのみ電弧熔接の害をなす。

又最もよい熔接は今日でも平均して普通の平爐鋼よりは多くの窒素を含む。裸電極を用ひた熔接材は 0.08~0.22%, 平均して 0.1~0.15% N_2 を有す^{1-11, 16}). 被覆せる電極ではそれは單に 0.003~0.067% である^{1-2, 4-6, 9-12, 17-20}). 最近のよく被覆した電極を用ひると、熔接部の窒素の量は 0.02% 以下である。心金の電極で熔接された材料は 0.065~0.12% の N_2 を示す^{9, 13, 23}). アセチレン酸素熔接では 0.005~0.038% である^{3, 7, 11, 20-22}). 電弧原子熔接でも同様に 0.013~0.026% N_2 を含む^{24, 25, 26}). 水素氣流中で炭素の電弧で熔接したものは 0.025~0.046% N_2 を含む²³).

3. 窒素の吸収に對する影響

熔接せる材料の窒素の吸収は多くの條件で影響される。その一つは熔接棒の成分である。熔接棒の炭素が増加すると或る場合には(第3表)僅かに、又他の場合には著しく(第4表)熔接された材料の窒素吸収を減退せしめる。

第3表 熔接棒の炭素量と窒素の吸収との關係
(A. Portecoin 及び D. Séfrian に依る²³)

熔接棒			熔接せる材料					
			裸電極		薄く被覆せる電極		中程度に被覆せる電極	
C%	Mn%	Si%	C%	N_2 %	C%	N_2 %	C%	N_2 %
0.03	—	—	—	0.160	—	—	—	—
0.45	0.14	0.25	0.22	0.140	0.074	0.044	0.052	0.036
0.80	0.11	0.13	0.39	0.132	0.065	0.041	0.053	0.030

第4表 熔接棒の炭素量と窒素の吸収との關係
(W. Hoffmann に依る²³)

熔接棒			熔接棒					
			ガス熔接			電弧熔接		
C%	O_2 %	N_2 %	C%	O_2 %	N_2 %	C%	O_2 %	N_2 %
0.05	0.031	0.028	0.06	0.082	0.048	0.03	0.215	0.122
0.40	0.025	0.020	0.24	0.071	0.040	0.20	0.147	0.089
0.80	0.026	0.019	0.62	0.041	0.021	0.60	0.100	0.034
1.10	0.021	0.020	0.93	0.038	0.028	0.90	0.092	0.048

0.05~1.0% に炭素が増加すると裸の電極では、第4表と同様に熔接された材料の窒素の量が 0.135~0.05% になる事が判つた²³). 炭素量の作用は恐らく酸化炭素の保護外氣を作る事に依つて解釋されやう²³). この事は又被覆材に炭素を添加する事に依つて窒素の増加が甚しく減らされる事と一致してゐる²³).

熔接棒が少量の Mn を含む事の窒素の吸収に及ぼす影響は一元的ではないが^{9, 11}), Mn の量が 1.5~4% になると窒素の吸収をへらす²⁰). 被覆材への Mn の添加が窒素の吸収に及ぼす影響は簡單でない²³).

珪素が1.22から4%に増加せる電極を用いた熔接縫目では0.077~0.030%の N_2 を示した^{8,27}). 他方3.95%の Si を含む電極を用いて熔接せる材料は0.11%の N_2 を示した²⁶). 被覆材に対する珪素の作用は未だ明かでない。

裸電極で5%までの Ni を含む事は窒素の吸収に影響せぬ^{27~29}). 2% Ni , 0.2% V を含む被覆した電極は窒素の含有を下げた。然しこの電極はその外に0.2% C と1.2~1.4% Mn を含んだ²⁸). 銅は同様に窒素の吸収に影響せぬ如く見える。

13.7, 15.8及び28.9%の Cr を含む裸の電極で熔接せる材料は0.30, 0.26及び0.52%の N_2 を含んだ^{28, 29}). 従つて Cr の量が増すと窒素の取得量を増す。 Al に対しても同様である²⁹). Mo はこの兩元素より更に強く窒素の吸収を増し、 V は多少これらに劣る⁴²).

ガス熔接の窒素の量は小さいので熔接棒の合金元素の窒素の吸収の影響を確める事は困難である。

熔接の外氣の窒素の吸収に対する影響に關しては種々報告せられてゐる。第5表に示した結果より(0.13~0.18% C の裸の電極), 熔接せる材料の窒素の吸収は熔接の外氣の窒素の分壓の函數である事が判る。アセチレン酸素の熔接に於て水素は保護ガスとして窒素の吸収を減らす。アンモニヤは熔接材料の窒素の吸収を高める²⁹). 裸の電極と比較すると、一般に用ひられてゐる被覆せる電極はすべて窒素の吸収を減らす事が判る。被覆は窒素の少い熔接材料を得るのに最も大切なものである。窒素の吸収に対する被覆の種々の影響に關する完全な精しい研究は未だ無い様に思はれる。

第5表 種々の外氣に依る窒素の吸収 (J. W. Miller に依る²⁵)

外 氣 (容積%)	熔接せる材料の N_2 重量%
純粋な水素 (H_2)	0.0255
75% H_2 , 25% N_2	0.0500
25% H_2 , 75% N_2	0.0717
純粋な窒素 (N_2)	0.143
空氣	0.107

第6表 被覆の厚さと窒素の吸収との關係²⁹)

被覆の厚さ (mm)	F/F ₁ *	熔接せる材料の N_2
0	0	0.160
0.3	0.0225	0.130
0.75	0.140	0.045
1.2	0.330	0.040
2.5	1.560	0.030

* F=熔接棒心金の斷面積 F₁=被覆の斷面積

被覆の厚さが増加すると窒素の量は初め急に、後徐々に減少する(第6表)。この結果はアームコ鐵の4mmφの電極を用いたもので、その被覆は47% Fe_2O_3 , 41% SiO_2 , 8% Al_2O_3 及び3% Na_2O であつた²⁹). 0.11~0.15% C , 1.2~1.5% Mn を含み、27%のチタン鐵(Ilmenit), 13.5%の軟マンガン鐵(Pyrolusit), 27%の長石(Feldspat), 15%のフェロマンガ(80% Mn), 10%の錫の屑及び12.5%の水ガラスで被覆した電極では、被覆を厚くしても、熔接せる材料の窒素の量は0.02%以下にならなかつた²⁹).

その他の影響は電弧の長さである。それが長くなると、窒素の量

は増す^{29, 27, 28}). 電壓を高めると、窒素の吸収が極めて僅かではあるが強くなる^{24, 25}). 熔接電流の強さは^{26, 27, 24, 29, 29} 窒素の吸収に對しては殆ど意味が無い。電極の直徑を小さくすると、やゝよくなる^{28, 25, 27}). 電極の方向は關係がない²⁵). 交流を用いて被覆電極で熔接した場合に直流の時よりも多少熔接材に於ける窒素の量が増加した^{28, 29}).

4. 窒素の吸収の過程

窒素を含んだ外氣中に於ける熔接に依る窒素の吸収の原因は、液狀の鐵の窒素に對する溶解能である。窒素は熔けた電極に於ける液狀の金屬に依つて、電極から熔接材への途中で溶かされ最後に液狀の状態になる。窒素が液狀の金屬に移る瞬間に於て如何なる状態にあるか、原子としてか、分子としてか、又それが空氣中で熔接されるときに窒素-酸素の化合物として、取り出されるかどうかは判つてゐない。

實驗の結果窒素の吸収は次の諸量に依つて影響される事が結論される。即ち熔接熔鋼に對する窒素の分壓、熔解される材料の溫度(電弧熔接の時は殆ど沸點、ガス熔接のときは殆ど融點) 熔接の熔けた部分(Schweissbad)の大きさ不純物の存在及び熔接後の冷却の速さである。窒素の分壓は電極を被覆する事に依つて下げられる。熔接の際に發生するスラッグは多少熔接の熔けた部分を外氣から遮斷する。その際窒素を含まぬガスを供給し窒素の部分壓を下げる如き添加物を被覆材に含ます事が出来る。他方被覆物に窒素と化合するもの、例へば CN として化合する如き添加物を與へ、それを金屬よりも重い熔解性の形にする事も出来る。更に被覆材は電弧の溫度と熔接の熔けた部分の最高溫度とに影響を與へる。

熔接の熔けた部分の最高溫度と、その大きさ及び、冷却の速さに關する正確な數字的の實驗結果は未だ存在しない。熔融してゐる部分の表面がその空間の大きさに較べて小さいと擴散に依る窒素の減少に對して悪い關係となる。他方熔けた部分が大きくなつて冷却速度がへると、擴散に依る窒素の減少が増進される。不純物の影響に就ては既に述べた通りである。

5. 機械的性質

熔接の機械的性質に對する窒素の影響は、多く研究されてゐる^{29, 27, 26, 28, 21, 23, 24, 28, 29}). 然しその結果の評価は困難である。何となれば熔接は常に窒素の外に多くの元素を含んで居り、その量は例へば酸素の如く、窒素の量に關係して變化する。その他結晶粒の大きさにも意味がある。この現在の調査に於て窒素の熔接の機械的性質に對する影響として次の事項をあげる事が出来る。

(1) 0.03~0.05 N_2 を含む(同時に酸素も高い)熔接せる材料は20°~1,000°の引張試験に於て、それに対応する窒素の少い鋼よりも伸が少い²⁹).

衝撃値は窒素の少い熔接材料の僅か1/40~1/4である。

(2) 600°C以上の溫度から焼入し、自然に放置する(室溫で放置)事及び人工時效(室溫で約10%の常溫加工し、250°で1h焼鈍する)を行ふと、熔接材料の伸及び衝撃値は僅か0.04%以上の N_2 があつても、非常に小さい値になる。それは時效處理に依つて、高温の時の衝撃値の急な減少がそのままになつてゐるからである²⁹).

(3) 空氣中で冷却するか又は600°以上の爐中で冷却すると、衝撃値に悪い影響を與へる。然し伸は増加する。この種類の熱處理は Ni を含む熔接棒に現れる熔接の性質をよくする如く思はれる²⁹).

(4) 窒素の多い熔接せる材料が 2% Ni を含むときは伸及び衝撃値は少いが、同様の Ni を含まぬものよりは幾分よい。Ni を含む材料の水焼入に依る危険な脆化は減少される。

(5) 高い窒素を持つ熔接した材料の組織に於て、窒素の代りに大部分が針状窒化物の形をしてゐるときは、材料のねばきは Sticksstoffmartensit (700° 以上から水焼入) のある時か又は過飽和の固溶體 (550°~600° より焼入) のある時よりは大きい。

(6) 600°~1,000° に於ける長時間の加熱(水素中)は、熔接材中に於ける窒素の量を下げる。そして伸及び衝撃値を高める⁴⁷⁾。

(7) 中間の又は高い窒素を含むものの熔接は、低温に於て比曲げ衝撃仕事量 (spezifische Biegeschlagarbeit) (切欠のない試料) の減少を示す⁴⁸⁾、これに反し窒素の乏しい熔接材料は -80° でも高い値を持つてゐる。

(8) 窒素の量が非常に少い時の窒素の含有量の熔接材の機械的性質に対する影響は未だ知られてゐない。

備考 同一著者に依る「鋼の熔接に對する磷及び硫黄の影響」なる論文は VDI. Z. **84** (1940) Nr. 25, S. 432/34 にあり。同論文も本論文の如く多数の文献を紹介せり。

文 献

- 1) E. G. Houston, Weld. Ind. **4** (1936) p. 153/60.
- 2) L. J. Larson, J. Amer. Weld. Soc. **15** (1935) No. 10 p. 14/20.
- 3) B. B. Gezow, Katschestw. Stal (1936) Nr. 10 S. 45/46.
- 4) J. A. Moses, J. Amer. Weld. Soc. **14** (1935) No. 4 p. 5/19.
- 5) L. Reeve, Iron Steel Inst., Weld. Symp. **11** (1935) p. 517/29.
- 6) W. Lohmann u. E. H. Schulz, Arch. Eisenhüttenw. **7** (1933/34) S. 465/71; W. Lohmann, Mitt. Forsch. Inst. Ver. Stahlwerke, Dortmund, **3** (1932/33) S. 267/94.
- 7) N. A. Ziegler, Trans. A. S. S. T. **20** (1932) p. 73/84.
- 8) L. W. Schuster, J. Iron Steel Inst. **125** (1932) p. 243/69.
- 9) J. C. Hodge, J. Amer. Weld. Soc. **11** (1932) No. 10 p. 36/40; **9** (1930) No. 10 p. 93/116.
- 10) P. Schoenmaker, Polyt. Weekbl. **25** (1931) S. 647/48.
- 11) A. Fry, Krupp. Mh. **12** (1931) S. 201/14.
- 12) J. Fuchs, Z. VDI **74** (1930) S. 1569/72.
- 13) J. H. Paterson u. H. Blair, J. Soc. Chem. Ind. **38** (1919) S. 328 T/330T.
- 14) M. R. Woirin, Bull. tech. Bur. Veritas **19** (1937) No. 1 S. 14/18.
- 15) R. Hackert u. K. L. Zeyen, Techn. Mitt. Krupp **5** (1937) S. 22/31.
- 16) M. Chatalbashyan, Ber. u. d. Lichtbogenschweissung m. einer Kohle-Elektrode. Kiew 1937.
- 17) F. Leitner, Z. VDI **80** (1936) S. 851/56.
- 18) S. L. Hoyt, Trans. A. S. M. **23** (1935) p. 61/84.
- 19) H. Hiemke, Trans. A. S. M. **23** (1935) p. 85/86.
- 20) J. F. Lincoln, Iron Steel Inst., Weld. Symp. **11** (1935) p. 437/43.
- 21) F. R. Hensel & E. J. Larson, J. Amer. Weld. Soc. **11** (1932) No. 4 p. 28/32.
- 22) A. J. Mladjara, Werft Reed. Hafen **17** (1936) S. 401/402.
- 23) A. Portevin u. D. Seferian, Veröff. d. 12Int. Azet. Kongr. **3** (1936) S. 690/703; Iron Steel Inst., Weld. Symp. **11** (1935), p. 483/506; Etude de la Formation des Nitrides de Fer par Fusion et du Système Fer-Azote, von D. Seferian, veröffentlicht von Institut de Soudure Autogene, Paris (1936); Welder **8** (1936) S. 1165/1175; Chim. et Ind. **37** (1937) No. 3 p. 426/30.
- 24) F. Leitner u. A. Schmidt, Autog. Metallberab. **29** (1936) S. 33/37.
- 25) G. M. Tichodeev, J. Amer. Weld. Soc. **15** (1936) No. 3 p. 26/31.
- 26) L. W. Schuster, J. Iron Steel Inst. **125** (1932) p. 278/83; Iron Steel Inst., Weld. Symp. **11** (1935) p. 640/43.
- 27) W. Hoffmann, Eidgen. Mat. Prüf. Anst., Zürich, Disk. Ber. **12** (1926) S. 40/41.
- 28) W. Hoffmann, Autog. Metallbearb. **20** (1927) S. 18/27 u. 33/44.
- 29) L. Losana, Metallurg. ital. **26** (1934) p. 391/403.
- 30) J. L. Miller, J. Amer. Weld. Soc. **15** (1936) No. 2 p. 5/10.
- 31) E. Haardt, Elektroschweissg. **5** (1934) S. 161/64 u. 193/96.
- 32) W. Kleinfenu, Carnegie Schol. Mem. **22** (1933) p. 97~133.
- 33) Shun-ichi Satoh, Trans. A.I.M.E. **90** (1930) p. 192/208.
- 34) A. Portevin & D. Seferian, C. R. Acad. Sci., Paris, **240** (1937) p. 48/51.
- 35) L. W. Schuster, J. Iron Steel Inst. **122** (1930) p. 249/78.
- 36) W. Lohmann, Stahl u. Eisen **57** (1937) S. 1051/55.
- 37) V. I. Diatlow, Akad. Kiew, Bericht über Elektroden-Umhüllungen zum Herstellen alterungsumempfindlicher Schweissungen (1937) 42 S.; Avtog. Delo **7** (1936) Nr. 11 S. 4/5.
- 38) F. Leitner, Elektroschweissg. **5** (1934) S. 121/27.
- 39) L. J. Petrow u. J. L. Plutschek, Aviopromishlennost **5** (1936) Nr. 10 S. 8/17; Elektroschweissg. **8** (1937) S. 58/59.
- 40) H. S. Rawdon, E. C. Groesbeck & L. Jordan, Chem. metall. Engng. **23** (1920) p. 677/84 & 777/84.
- 41) V. V. Boitzow u. L. A. Sorokin, Avtog. Delo **7** (1936) Nr. 10 S. 27/30.
- 42) F. R. Hensel & E. J. Larsen, Trans. A. S. S. T. **19** (1932) p. 639/44.
- 43) K. L. Zeyen, Iron Steel Inst., Weld. Symp. **11** (1935) p. 603/16; Stahlbau **11** (1938) Nr. 6 S. 41/46.
- 44) J. C. Hodge, Iron Steel Inst., Weld. Symp. **11** (1935) p. 391/417.
- 45) J. Quadflieg, Arcos **14** (1937) S. 1629/35 u. 1706/17.
- 46) J. C. Hodge, J. Amer. Weld. Soc. **10** (1931) No. 4 p. 11/15.
- 47) W. Kleinfenn, Carnegie Schol. Mem. **24** (1935) p. 87/102.
- 48) L. W. Schuster, Brit. Engine, Boiler and Ins. Co. (1936) p. 85.