

翻 譯

少量の合金元素含有量が鋼の焼減及脱炭に及ぼす影響

Hans Schrader in Essen

Stahl u. Eisen 59 (1939) 473~482

荒 井 洋 一 譯

酸化焼減り

種々の合金元素が鋼の酸化焼減りに及ぼす影響に関する文献を總括するに、二三の合金元素、特に Al, Cr 及 Si は比較的屢々問題にされて居るが常用される添加合金元素を同じ様な或は共通の條件の下に比較した系統的な研究は殆ど行はれて居ない。

酸化性爐ガス中で 1200°C に赤熱すると酸化焼減りの爲に重量の減少を伴ふ。此の燃焼現象に対する感度に及ぼす種々の合金元素の作用に就て行つた著者の實驗¹⁾に依ると、主として盛に燃焼現象が起る様な焼鈍條件に於ては酸化が極めて著しい爲重量減少の方法では 3~6% 程度の各種合金元素の影響は蔽はれてしまふ様である。これに反して鋼の周縁層に於ける酸化物浸透の深さには明かに差異があらはれて来る。Al, Cr, Cu, Si 及 W の如き合金添加物は酸化浸透を阻止する作用があるが(第 1 圖), Co 鋼, Mo 鋼, Ni 鋼等に於ては、合金元素量が増大するに従つて酸化浸透の深さは逐時増大する(第 2 圖)。Mn, V 及 Ti 含有量の多い鋼は非合金鋼と同じ様な性質を持つて居る。次に明かに差異を生ずる様な最も好い焼鈍條件の時に酸化損失に及ぼす影響を夫々の合金元素に分けて述べるが、先づ非合金鋼に就て其の作用を観察し次に其れに關聯した簡単な合金鋼に就て行ひ、最後に若干の工業用鋼に就て種々の元素を多少添加せる場合の作用を比較する事にする。Al に関しては A. Hautmann,²⁾ N. A. Ziegler³⁾(第 3 圖)E. Scheil 及 E. H. Schulz⁴⁾並に A. Portevin, E. Pretet 及 H. Jolivet⁵⁾(第 4 圖)等は何れも低炭素の非合金鋼の酸化損失は Al 含有量の増すに従つて減少する點を確認して居る。之等の實驗に於て耐酸化性を僅か乍ら改善した最低含有量は Portevin の場合は 0.7% であり、此れに次いで Portevin 及 Ziegler の場合に於ては、1.5% であるが、此の場合には既に明瞭な耐酸化性改善が見られる。これに反して E. Scheil 及 K. Kiwit は 1100° 及 1200°C の焼鈍温度に於ては含有量 2% 迄酸化の増加を認めるが、(第 5 圖)4% Al 鋼の酸化損失は 0.5% の最低含有量の場合に匹敵し、更に含有量が高くなつた時に初めて酸化損失阻止の効果が表れる。そして焼鈍温度 1000°C に於ては Al 含有量 2% にて、又 900°C の場合は 4% にて改善された事を認めた。

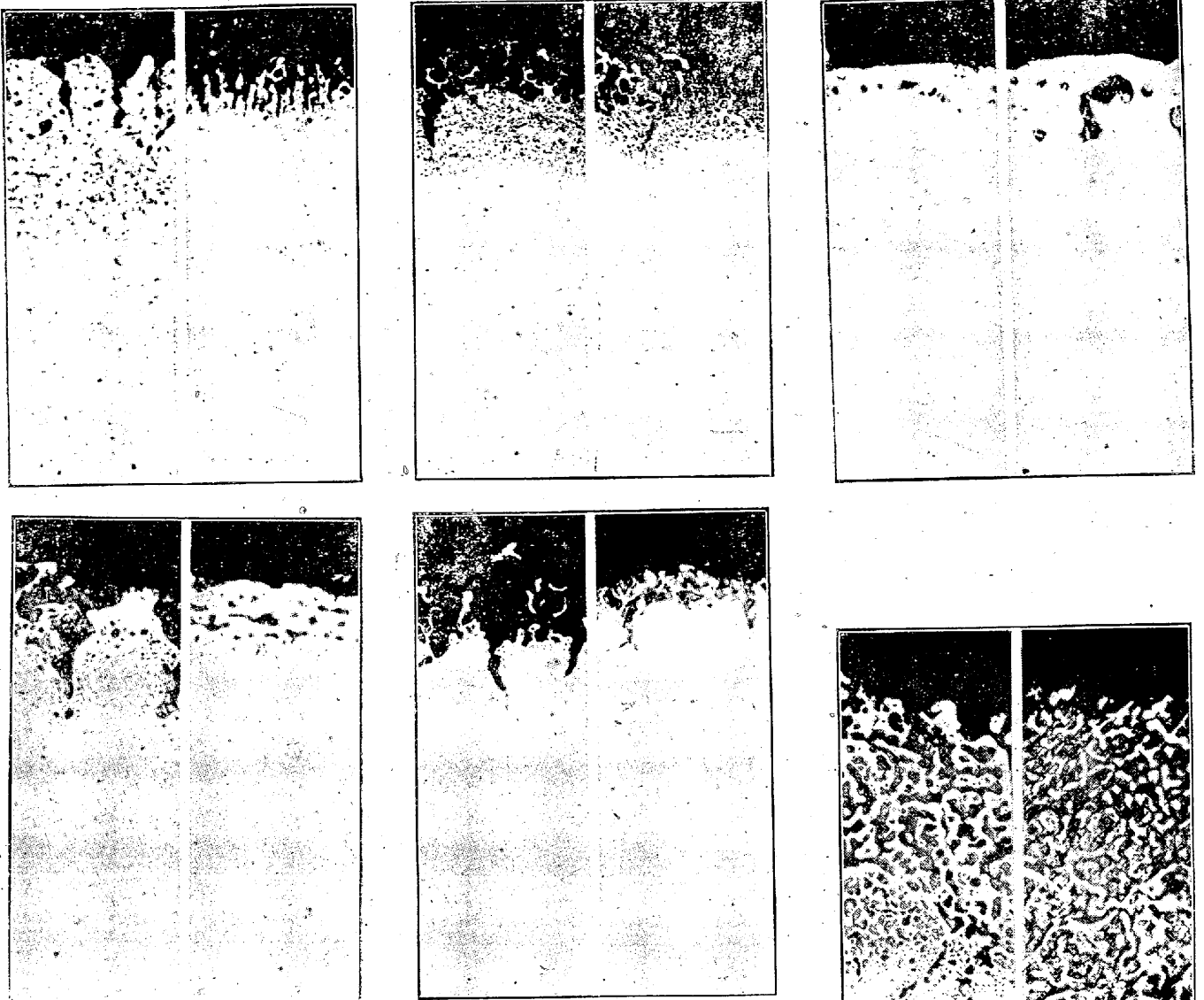
Ziegler は其の實驗に於ては Al 添加に依る酸化緩和の程度を決定するのに、耐酸化性が 8% Al 鋼に略匹敵する、80% Ni 及 20% Cr の合金を基準として比較して行つた。(第 3 圖)

合金鋼に就ても Al 添加は非合金鋼の場合と同様の効果ある事を A. Fry⁷⁾ は 6% の Cr 鋼に就て、又 H. Hondremont 及 G. Bandel⁸⁾ は 0~6% の Cr 鋼に就て立證して居る。特記すべきは E. Piowarsky⁹⁾ に依ると鑄鐵に於ける酸化焼減りも Scheil 及 Kiwit の實驗の場合と同様に先づ Al 添加に依つて最初は高められ

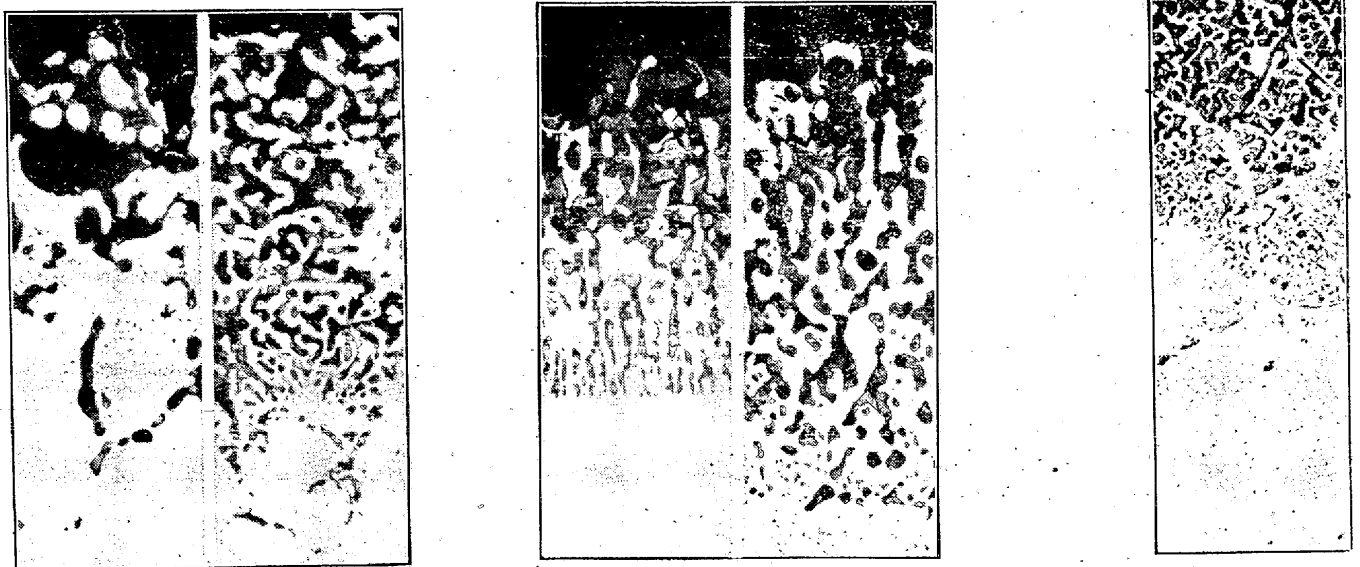
ると言ふ事である(第 6 圖)。黒鉛量が減少すると、鋼の場合と同様、焼減りは減少する。それ故に 10~20% Al の白鉄に於ては非常に耐酸化性が良好になる。Be に就ては J. Luissus¹⁰⁾ が、Fe-Be で Be を浸透させた軟鋼に於て耐酸化性が著しく改善される事を觀察した。然し此の場合に於ては此の好適の性能を生ぜしめた合金含有量は不明である。これに對して E. Scheil 及 K. Kiwit⁶⁾ は、4% の Be を添加しても酸化に對しては何等の保護作用にならないと報告してゐる。B に就ては A. Fry が、1200°C で 53h 容器中の焼鈍の際 30% の Cr 鋼の耐酸化性が 0.04% B 添加の爲著しく阻害される點に言及し、説明として發生した B の酸化物が溶劑状の特性を有する爲防護被膜を破壊するのだらうと言つてゐる。

Cr の場合に於ては、E. Scheil 及 E. H. Schulz⁴⁾ の説に依れば酸化焼減りの防止作用は含有量同一の時は Al の場合よりも少い。Scheil 及 Schulz が用ひた短時間焼鈍に於ては Cr 量が多くなる程酸化焼減りは徐々に減退するが、A. Fry⁷⁾ の長時間焼鈍に於ては Cr 15~18% にて急激に減少する(第 7 圖)、A. Portevin, E. Pretet 及 H. Jolivet⁵⁾ は Al 含有鋼の場合と同一焼鈍條件の下にて、鋼の Cr 量を順次増大させて、其の作用を實驗し、Scheil 及 Schulz が述べてゐるのと同様の性質を有する事を見出した。H. Schottky 及 E. Houdremont¹⁾(第 8 圖)は、特に Cr 量の低いものに就て其の添加量を細かく區分して實驗し、酸化損失は Cr 量が増大するに従つて段階的に減少すると言ふ結果を得た。Cr 量 3~4% 迄は何等顯著な變化も見られなかつたが、4~7% になると著しく改善せられ、8~10% に増加させると更に良くなる。これとは逆に E. Scheil 及 K. Kiwit⁶⁾ は 1000°C 又はそれ以上の焼鈍温度の時には、Cr 量が 2% 迄は焼減りは多くなるが(第 9 圖)、それ以上になると幾分少くなり、12% 以上になつて初めて効果が顯著になると言つてゐる。E. Houdremont 及 G. Bandel⁸⁾ が 0.5~1% 或は 2~3% の Si を含有する Si 鋼に就て測定し Fry の實驗と同様の Cr 量と耐酸化性との關係曲線を得て居るが、急降下の現象は焼鈍温度が高くなるに従つて合金含有量の高い方にずれてゐる。Cu の作用に就ては H. Bennek¹²⁾ が不純物と見做しても良い様な 0.25% 迄の極めて微量な場合のみに就て、0.1% C の低炭素鋼並に 0.9% C の工具鋼に對して實驗して居る(第 10 圖)。Cu の添加は炭素量が高い場合にのみ焼減りを制限する作用がある。

Ni の作用は Cu と同様である。H. Bennek¹²⁾ は Cu の場合と同程度含有量が低い間は、Ni 量が増大するにつれて炭素量とは無關係に焼減りは減少する。(第 10 圖) 斯様な Ni 及 Cu の作用は含有量が高くなつても續いて起るものと考へられてゐる。即ち Ni

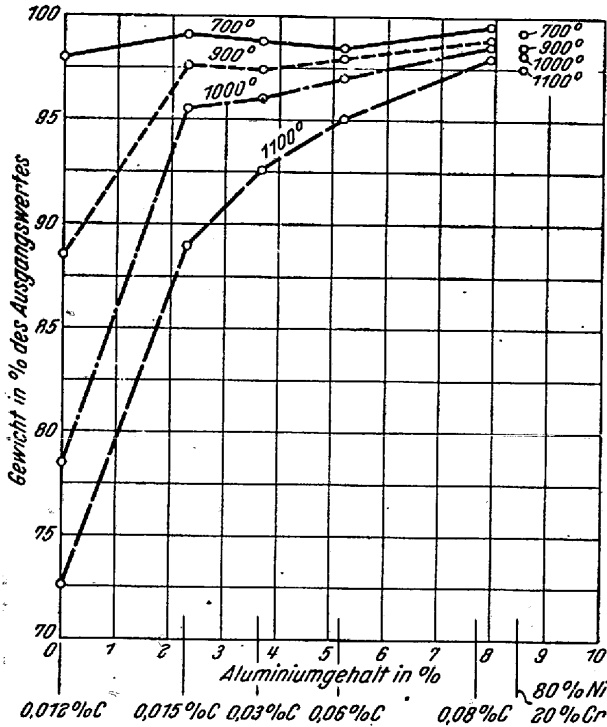


第 1 圖 燈用ガス中で 1200°C, 8h 焼鈍後, 鋼の週邊部の酸化滲透が, Al, Cr, Cu, Si 及 W の合金元素に依て阻止せられる状況



第 2 圖 燈用ガス中で 1200°C, 8h の焼鈍後, 鋼の週邊部の酸化滲透を Co, Mo 及 Ni の如き合金元素が助長する状況

の場合は、D. W. Murphy¹³⁾の實驗より、これが立證せられる。この實驗に依れば、3.4%のNi鋼は同成分の非合金鋼よりも明かに耐酸化作用が顯著である。



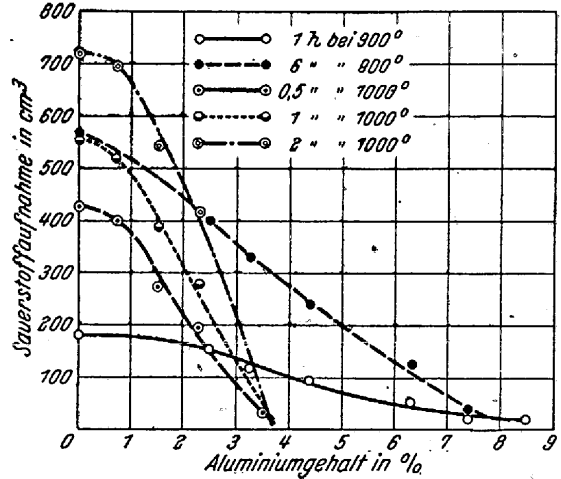
第3圖 AlがAl-Fe合金の耐酸化性に及ぼす影響を2h焼鈍後の耐高熱性Cr-Ni鋼及軟鋼の比較. N. A. Ziegler

Mnに就ては其含有量を順次増大させて酸化に對する作用を試験した結果はない。G. Burns¹⁴⁾に依ればSiばね鋼に於ては、1% Mn鋼の焼減りは0.6% Mn鋼より幾分か大きい。

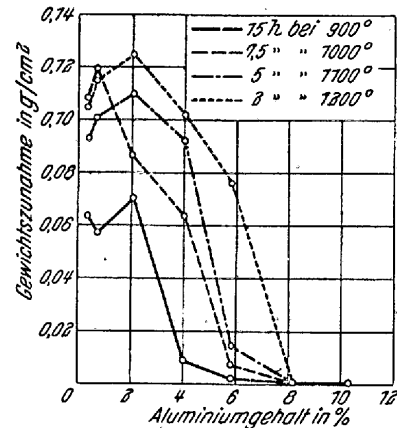
耐酸化性鋼の場合Moは屢々有害なものとしてされてゐるが、E. Scheil及K. KiwitはMoの含有量が1%以上になると酸化焼減りが降下する事を確認した(第11圖)。然し1%以下に於ては何等變化が起らない。含Mo高速度鋼に就て、R. Scherer¹⁵⁾及H. BriefsはMoを含有すると表面燃焼の感度が増加する事を注意し、E. Houdremont及H. Schrader¹⁷⁾は非合金鋼に於ける燃焼現象の滲透はMoの添加に依つて酸化枝(Zunderästen)の形で、一層強化される點を指摘して居るが(第2圖)、含Mo高速度鋼は1200°Cで酸化焼鈍される時は、含W高速度鋼に劣らぬ性質を示す。Moを多量に含む高速度鋼に於てはScheil及Kiwitの實驗結果と一致し、酸化焼減りは少くなる。C. H. Loring及D. E. Krause¹⁸⁾に依ればPを高くすると非合金鋼或は少量のNi, Cuを含有する鋼に於て酸化損失を減少させる作用がある。Pの高い鋼の特異性は緻密な酸化層の出来る事があるが、0.3%迄の低含有量のものに於ては酸化層は緻密でなく、はがれ易い。

A. Porteuin, E. Prétet及H. Jolivetの説に依れば、1000°Cの酸素中で焼鈍する時、Si其の量の多い程酸化損失を制限する作用があるが、AlやCrを添加した時程其の作用は著くない。この種の作用はF. Körber¹⁹⁾がFe-Si合金に於ける焼鈍色に就て觀察して居るところからも推察される。焼鈍色は約400°Cの比較的低い温度に於ける酸化を特徴づけるものであるが、Si含有量が高くなると同一の焼鈍色を發生させるのには長い作用時間を要することが認められる。焼鈍色は生成した酸化層の厚さに關係するものであるか

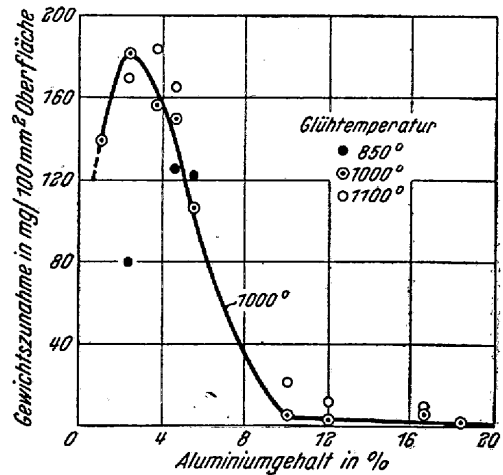
ら、Siの多い場合には少い場合よりも酸化層が薄いのであると云はなければならない。これに反してE. Scheil及K. Kiwit⁶⁾に依れば、酸化焼失は含有量2%又特に1200°C位の高い焼鈍温度の時は4%迄は却て高められ、更に含有量が高くなつた時に初めて酸化損失が少くなるのである(第12圖)。



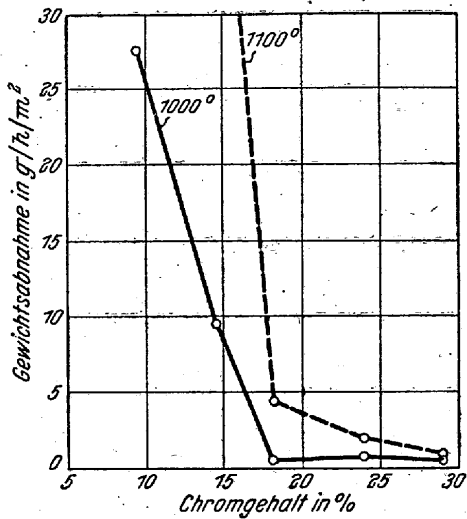
第4圖 酸化焼減りに及ぼすAlの影響. A. Porterin, E. Prétet及H. Jolivetに依る。



第5圖 空氣中で焼鈍せる際Al鋼の焼減りに及ぼすAl含有量の影響. E. ScheilとK. Kiwitに依る。



第6圖 5h焼鈍せる際鑄鐵の耐酸化性に及ぼすAlの影響. E. Piwowskyに依る。



第7圖 空氣中で24h 焼鈍せる際 0.5% C の非合金鋼の焼減りに及ぼす Cr の影響. A. Fry に依る.

合金鋼に就ては A. Fry⁷⁾ が 6% Cr 鋼に就て、Si を多くすると好影響をあたへる事を立證して居る。Schottky 及 Houdremont¹¹⁾ に依ればこの種の鋼の耐酸化性は Si 添加量増大に依つて改善されるが、其の結果は連続的ではなく段階的であり (第13圖)、然かも含有量が 1.5% に達する迄は何等本質的な變化は起らない。

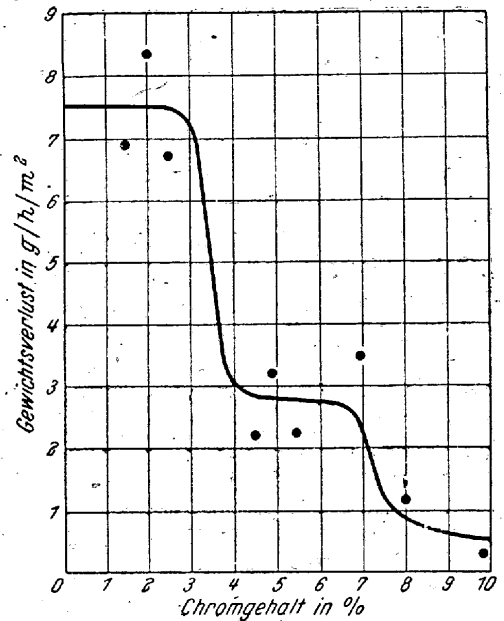
種々の Cr 鋼に Si 2~3% 添加した鋼は 0.5~1% を加へたものよりも良い性質を有する事は E. Houdremont 及 G. Bandel が指示して居り、同じく Si 量 1.4% に対して、2.2% を含有するばね鋼の方が成績良好な事は G. Burns¹⁴⁾ が指示してゐる。

V 鋼の場合には高 V 含有量の際には、G. Tamman 及 G. Sichel²⁰⁾ の其の焼戻色に關する觀察より推定すれば酸化焼減りが減少するものと思はれる。J. Laissus²¹⁾ は V にて鋼の表面處理を行つても酸化損失は全然減少しないと言つて居る。E. Scheil 及 K. Kiwit⁶⁾ も 4% V 鋼に於て明かな酸化防禦作用があるとは確認してゐない。

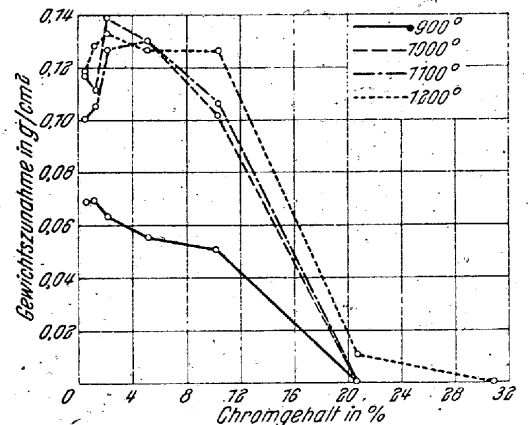
A. Fry の説に依れば、25% Cr, 20% Ni の耐酸化性 Cr-Ni 鋼に於ては 2.5% の W を添加すると耐酸化性は著しく阻害されることであるが、初めに引用した非合金鋼に關する著者の實驗¹⁾ に於ては 5.5% 迄の W を添加すると酸化損失は著しく緩和される。非合金鋼に於て合金元素の添加量を増加させた爲に生じた變化はある一定の合金量を含む單元合金鋼に就ても立證される。然し、多元合金鋼に種々の程度に含まれてゐる多くの合金素の交互作用に就ては、譬へば、E. Scheil 及 E. H. Schulz の Cr-Al 鋼又は H. Schottky 及 E. Houdremont の Cr-Si-Al 鋼の如き例はあるがあまり詳細に研究されてゐない。

二三の工業用多元合金鋼に就ては E. Piwowarsky²²⁾ が G. Tichy^{22a)} の研究に基いて焼鈍温度 700~800°C の時は低合金鋼の酸化の差異が非常に少いから (第14圖)、斯様な場合には微少な合金量の影響は2次的なものとするべきであると報じて居る。第14圖を見ても判る様に、2個の非合金鋼を比較した時における酸化損失の差異はこれを圖中の合金鋼と比較せる場合の差異と大して變りはない。此處で問題にしてゐるのは Mn 鋼, Mn-Mo 鋼, Cr-Ni 鋼, 並に低 W 鋼, 低 V 鋼で、何れも其の合金量を 1.5% 以下に限られて居るものである。

J. H. S. Dickenson²³⁾ もこれと同様な見解である。即ち彼は 5%



第8圖 700°C にて 120h 空氣中で焼鈍した後の鋼の酸化に及ぼす Cr の影響. H. Schottky 及 E. Houdremont に依る.

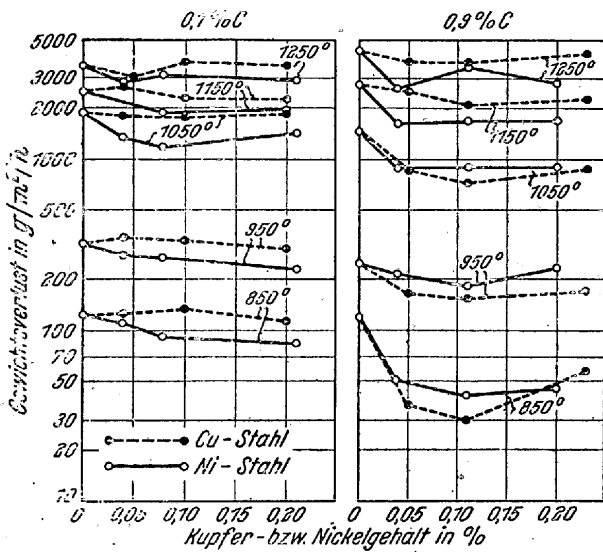


第9圖 空氣中で焼鈍した時の Cr 鋼の酸化と Cr 量との關係. E. Scheil 及 K. Kiwit に依る.

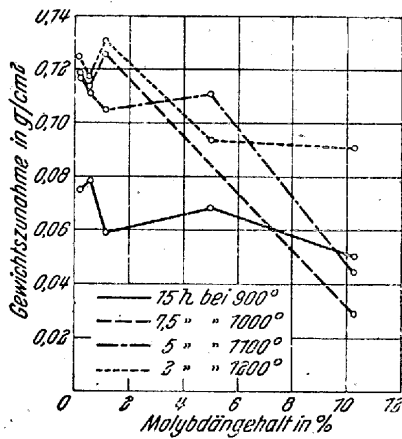
B 毎に中断し乍ら、100h 空氣中で焼鈍し其の酸化速度を測つた所、3.7% Ni, 0.7% Cr の鋼と他の成分には差の無い非合金鋼とは同じ成績を得た (第15圖)。これに反し 14% W, 3.7% Cr の高速度鋼、並に 2.6% C, 14.7% Cr の Cr 鋼の如き高合金鋼の内特に後者は明かに耐酸化性が著しいことが知られた。

D. W. Murphy¹³⁾ はガスと空氣の燃焼ガス中で各種の合金鋼の酸化焼減りを實驗したが、其の結果はこれと幾分異つて居る (第16圖)。これに依れば炭素量が増大すると概して酸化損失は減少する。

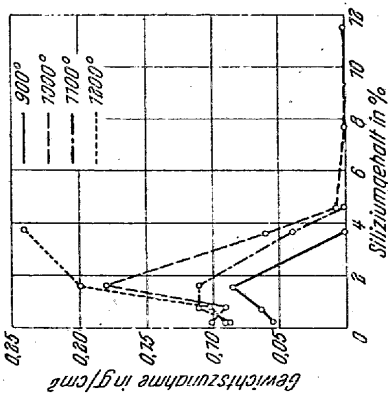
但しこれは炭素含有量が 0.23% 以上の時には正しいが、0.2% C の様なこれより低い場合は、これに反し、却つて 1% C の高炭素鋼に近くなる。炭素鋼と比較して 3.4% Ni の Ni 鋼に於ては酸化焼減りが緩和されることは既述したとほりである。これと同様な作用は 0.6% Cr, 1.1% Ni の鋼, 1.8% Ni と, 0.25% Mo の鋼並に 0.9% Cr, 0.3% Mo の鋼, 1% Cr, 0.25% V 鋼にても見られる。此の焼鈍條件に於ては高速度鋼は非合金鋼よりも焼減りが著しく、従つて其の状況は 1100°C 以下の焼鈍温度にて Dickenson が觀測



第10圖 0.1及0.9% Cの鋼を空气中で850°及950°に10hと1050, 1150, 1250°に1h焼鈍せる場合、不純物程度に含まれてゐるNi及Cuが耐酸化性に及ぼす影響。
H. Bennekに依る。



第11圖 Mo鋼を空气中で焼鈍した場合の酸化とMo含有量との關係。
E. Scheil及K. Kiwitに依る。



第12圖 Si鋼を空气中で焼鈍した際の酸化とSi含有量との關係。
E. Scheil及K. Kiwitに依る。

したところと異なつてゐる。鋼種に依る焼減りの差異は廢ガス中の炭酸ガス含有量が多くなる程少くなつて来る。

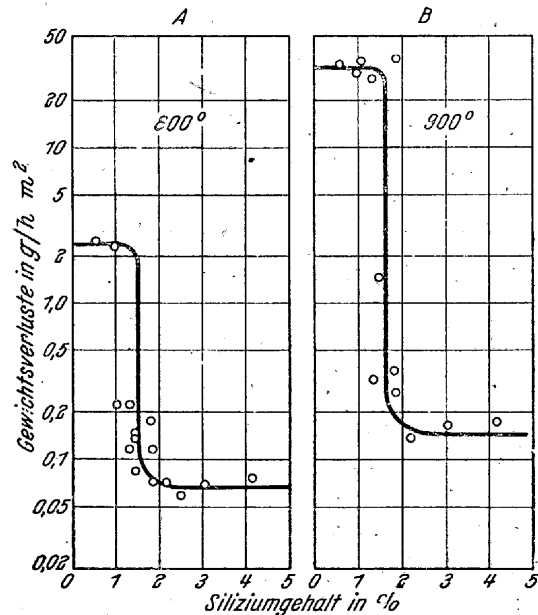
合金を含有する場合酸化焼減りが少くなる原因に就ては、E.

Houdremont及G. Bandel⁸⁾の研究に詳述されてゐる。

此の報告によると酸化焼減りが減少するのは合金元素が優先的に酸化せられ、酸化鉄よりも生成熱が高く、且つ高温に於ける分解壓の小さい酸化物から成る酸化皮膜が生成されるからである。Al, Cr, Si, Mn, Zr, Ti, V, 及Wの如きもの特に初の3元素がこれに屬する。其の酸化物生成熱がFeより低い合金元素、譬へばCu, 24, 25) Ni, 26) 及Moの如きは、スケールと地金の境界部に濃縮される爲、酸化焼減りを緩和する作用は一般に少い、これに對し反應生成物が液體又は氣體なる時は保護皮膜を破壊する事になる。例へばBを含む時には液狀の硼酸鹽を生じ、Moを含む場合には、容易に液化し發煙して氣化するMo酸化物を生ずる。種々の合金元素に就て生成する酸化物の種類に關してはE. Scheil及K. Kiwit⁹⁾の報告がある。

周邊脱炭

合金を少量含有する事に依つて鋼の脱炭性に差異があることに就てはW. Baukloh及H. Guthmann²⁷⁾並にW. Baukloh及W. von Kronenfels²⁸⁾の系統的な研究がある。此の研究に於ては700°C及1000°Cにて水素脱炭したる時、同一條件の下に於ける多くの各種合金元素の作用を比較してゐる。前者の研究は工業用鋼に就て實驗したものであるが、此の場合には色々和不規則な點があつて、鋼の性質に關聯し來るので、其の次のBaukloh及von Kronenfelsの實驗では研究用の出来るだけ純粹な鋼に就て行つた。



第13圖 120h 空气中で焼鈍した時は6% Cr鋼にSiを添加してその耐酸化性を改善せる狀況。

H. Schottky及E. Houdremontに依る。

Baukloh及von Kronenfelsの報ずる所に依ればAlは概して脱炭速度を減少させるものである。700°Cの低温に於ては炭素量が高いと不思議な事に此の關係が逆になる事が測定された。逆に²⁹⁾著者の實驗に於ては(第17圖)0.3%迄の少量のAlの添加では脱炭性は緩和されるが、含有量が高いと脱炭の深さが常に相當多くなる。Al含有量が低い時、脱炭が少くなるのは粒度が細くなる爲であると説明されてゐる。却ち粒が細いと粒境が多となり、滲炭の場合と同様に擴散現象が阻止されるからである。

Cr, 鋼は脱炭に對し良い性質を持つものとされてゐる。

E. D. Campbell J. F. Ross 及 W. L. Fink³⁰⁾ は 950~1000°C に加熱した湿つた水素中にて数日間脱炭させると、1.4% Cr の鋼でも非合

金鋼よりも脱炭しなくなり、14% Cr 鋼に於ては同様の焼鈍条件下にあつても殆ど脱炭作用は起らないことを指摘して居る。Baukloh 及 von Kronenfels に依れば Cr を添加すれば僅かではあるが、脱炭が制限せられ 1000°C の最高脱炭温度に於ても 0.3% 迄の低含有量のものできへ僅かながら脱炭防止の作用があらはれてゐる。

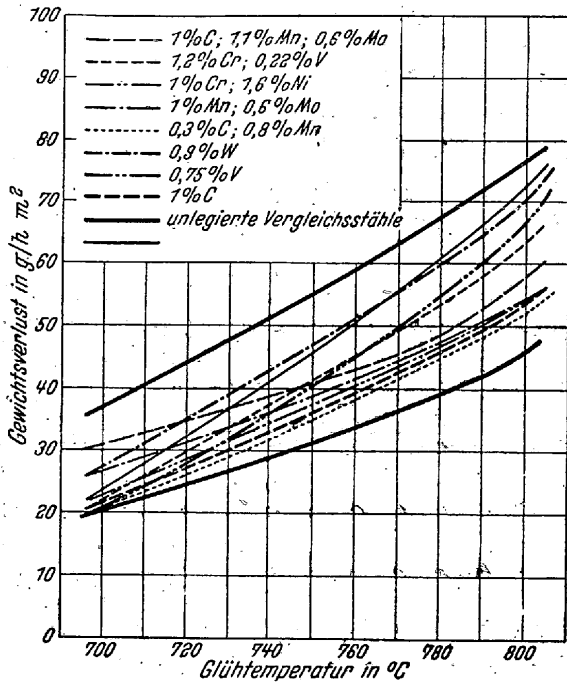
F. K. Naumann³¹⁾ の実験に依れば此れは高圧で行はれたのであるが脱炭に対する Cr の作用は非常に強いものである。(第 18 圖)。これは Cr 鋼を焼鈍した時に見られる実際の状況とも良く一致して居る。

E. Houdremont 及 H. Schrader³²⁾ の説に依れば Co を添加すると水素中で脱炭した時には脱炭の深さがその量に比例して擴大する。

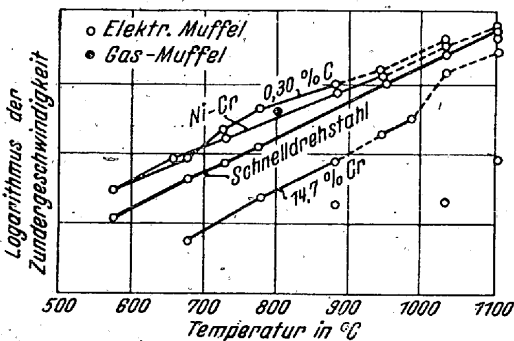
Baukloh 及 Guthmann は Cu に依つて脱炭性の衰減せられる事を見出した。これは酸化焼鈍すると 0.25% 迄の不純物程度の Cu は週邊脱炭の滲透深度を高くする(第 19 圖)と言ふ H. Bennek の実験結果¹²⁾と矛盾するが、それは恐らく焼鈍温度と脱炭の雰囲気と差異がある爲であらう。

Ni に就ては H. Bennek¹²⁾ の報ずるところでは、含有量を少くすると、脱炭は銅含有の場合と同様に大きくなる(第 19 圖)。

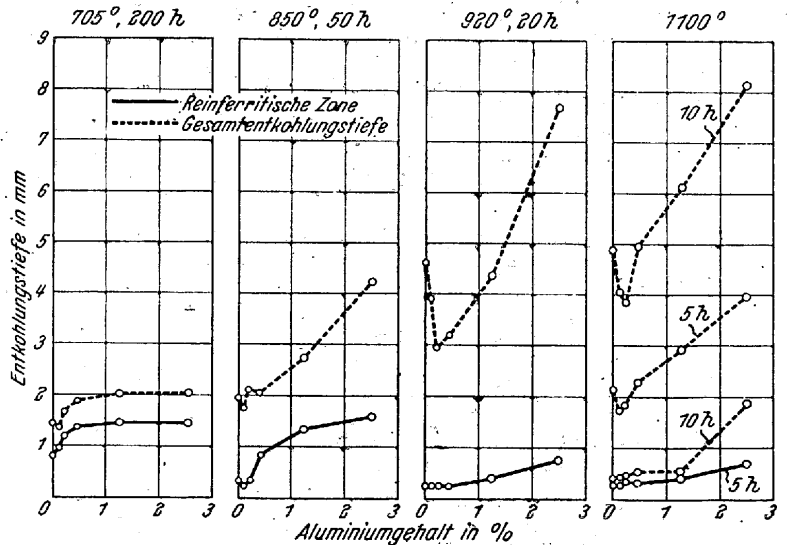
Baukloh 及 Kronenfels はこの現象は焼鈍温度が低い時のみ



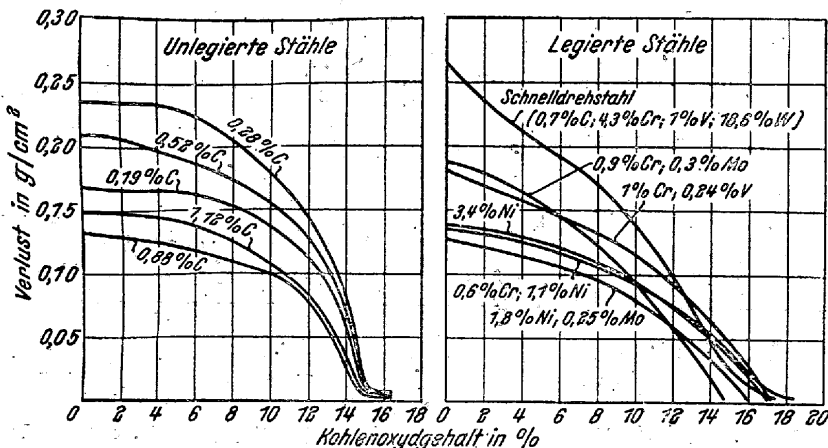
第 14 圖 空气中で 32h 焼鈍した際の低合金鋼と非合金鋼との酸化損失の比較。E. Piwowarsky



第 15 圖 二三の工業用鋼に就ての焼鈍温度と酸化速度との関係。焼鈍時間 (5.5~100h) J. H. S. Dickenson

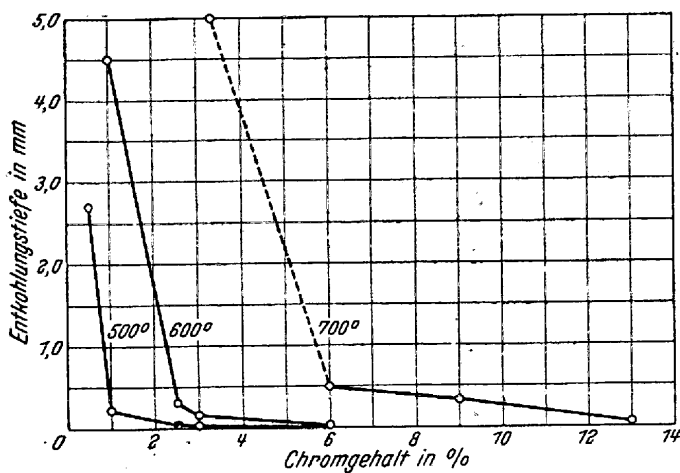


第 17 圖 湿気ある水素中で焼鈍した時の 1% C 非合金鋼の周邊脱炭に Al の及ぼす影響。E. Houdremont 及 H. Schrader に依る。



第 16 圖 1260° に於て焼鈍時間 40mn なる時各種の工業用鋼酸化焼減りと焼鈍空气中の一酸化炭素含有量の関係。D. W. Murphy

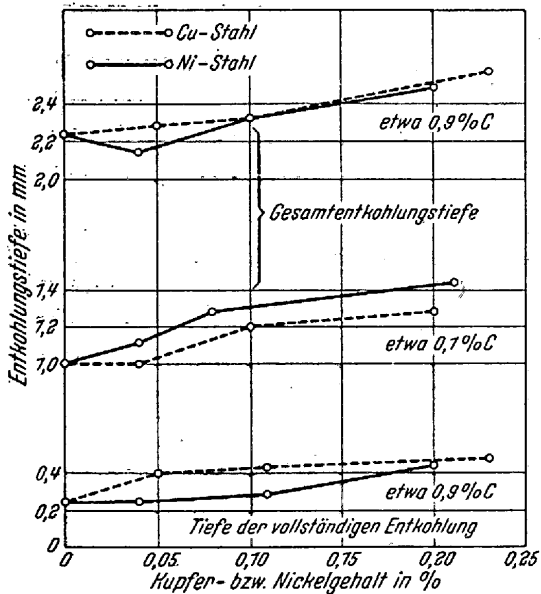
起り、1000°C の如く高い時は Ni を少くすると脱炭性は減少する事を立證してゐる。Mn 鋼に就ては Baukloh 及 von Kronenfels に依れば焼鈍温度の低い時は含有量 1.2% 迄は脱炭速度は含有量が大きくなるにつれて増大する(第 20 圖)。0.4% 以下の様に炭素量が低いものは Mn の少ない初めは高炭素のものと同じ様に變化するが、Mn 量が最高値に達すると急激な減少が起る。900°C 以上の様に焼鈍温度が高い時は Mn を添加すると先づ脱炭性は減少するが、1.2% の最高値の時、特に炭素量の高いものに於ては反對に幾分増大する。



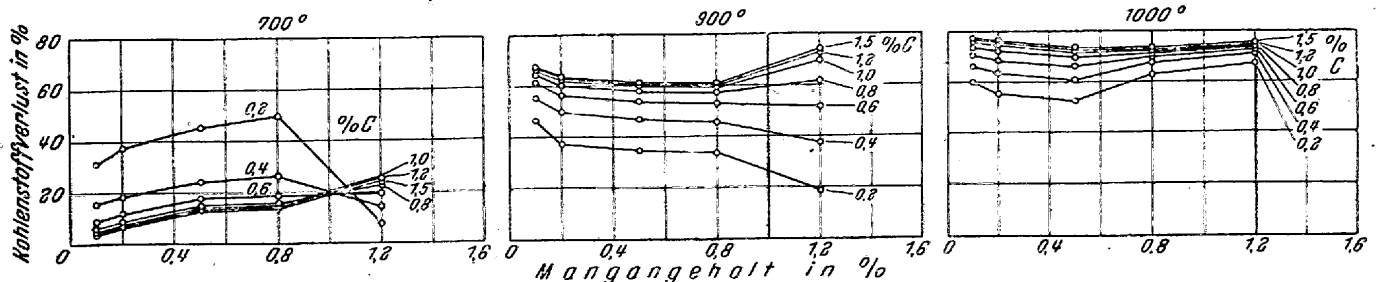
第18圖 焼鈍300hの際加圧せる(300atm) 水素に依る脱炭に及ぼす鋼中Cr含有量の影響。 K. F. Naumann

Baukloh 及 von Kronenfels は此の様に傾向の變化が起るのを特殊炭化物の生成する事に依つて説明しようとした。G. Burns¹⁴⁾ は Si ばね鋼に關し Mn 量が 0.6% から 1.1% に増大する時は脱炭表皮の深さが減少する様になると報じてゐる。

Baukloh 及 Guthmann に依れば脱炭速度は Mo に依つて幾分減少すると言ふ。これは Mo を含有する耐熱鋼或は高速度鋼に關す



第19圖 1250°Cの酸化性雰囲気中で1h焼鈍せる際不純物程度のCu又はNiが周辺脱炭に及ぼす影響。H. Benneckに依る。



第20圖 乾燥せる水素中で7h焼鈍せる際炭素量種々の平炭素鋼の脱炭に及ぼす Mn 添加の影響。W. Baukloh 及 W. von Kronenfels に依る。

る實際の経験に照して見るに反對になる。含 Mo 高速度鋼の周辺脱炭に對する感度の著しい事に就ては H. Pohl, H. Pollack 及 R. Scherer³³⁾ 並に H. Briefs¹⁶⁾ が指摘して居る。著者の實驗に於ても之と一致し 6% 迄種々に Mo を含有した工具鋼に就て Mo 含有量が高くなるに従つて脱炭が次第に増大すると言ふ結果が出て居り、含有量 2.5~12% Mo の高速度鋼に於ても亦同程度の脱炭が現れて居る(第21圖)。

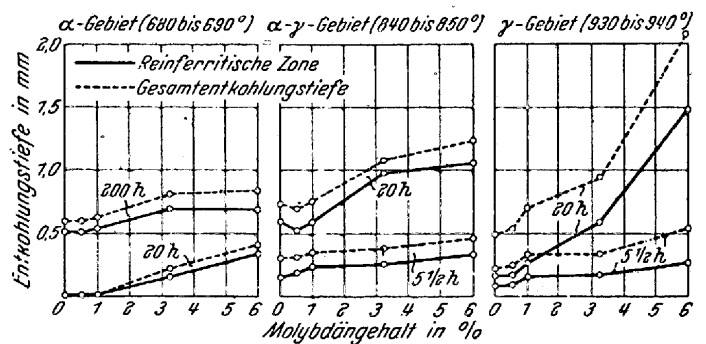
Baukloh 及 von Kronenfels の報ずる所に依れば、Si 鋼に於ては 700°C 位の低温の場合には脱炭性は Si 量に比例して減少する(第22圖)。

1000°C 位の高温の際も含有量 0.8% に至る迄は同様な傾向があるが、Si が更に増大すると脱炭が増加する。焼鈍温度が平均 900°C 位の時常に上昇的な曲線經過が 0.8% にて低くなつて中斷される他、常に脱炭上昇經過を辿る。

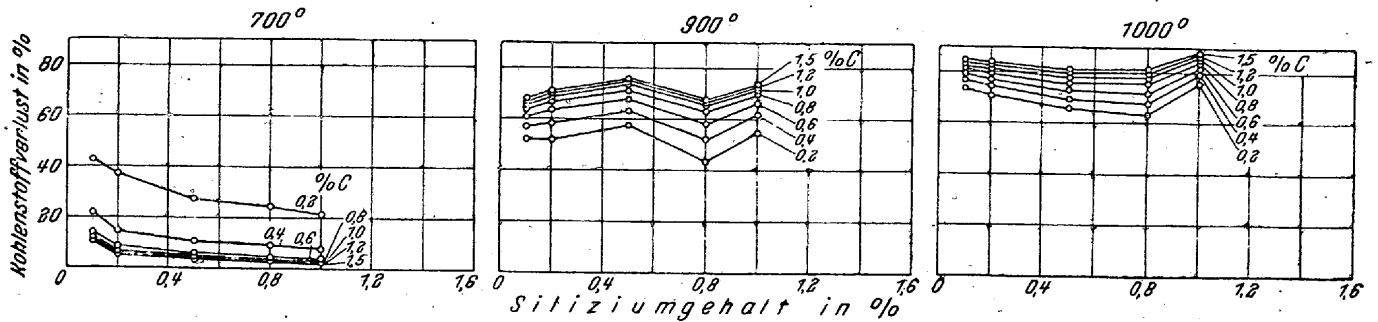
Si 含有量の多い鋼に於ては Baukloh 及 Guthmann が色々な焼鈍温度に於て何れも含有量と共に脱炭性が連続的に減少することを測定したが、これは R. Achterfeldt³⁴⁾ に依つても立證せられて居り、1% C の工具鋼に就ての結果が第23圖に纏めてある。之に反して G. Burns¹⁴⁾ に依れば 1% Mn のばね鋼に於ては Si 量が高い時に脱炭深度が増大する。

Baukloh 及 von Kronenfels に依れば、Ti を添加すると脱炭性は減少し、Baukloh 及 Guthmann に依れば V を含有するものも亦 Sn を添加した場合と同様に脱炭性を減少せしめる。しかし此の事は V 鋼の場合には 1000°C の最高焼鈍温度の場合のみにあてはまる事である。

W. Baukloh 及 von Kronenfels は低い焼鈍温度、特に 700°C に於て W は添加する時は脱炭性が減少する事を確認したが(第24圖)これは Mo 鋼の場合と同様に W 鋼は焼鈍の際周辺脱炭に特に敏感であると云ふ³⁵⁾ 實際の経験に相違する。1000°C の高温焼鈍の



第21圖 濕氣ある水素中で焼鈍した時の1% Cの非合金鋼の周辺脱炭に及ぼす Mo の影響。E. Houdremont 及 H. Schrader に依る。



第 22 圖 乾燥した水素中で 7h 焼鈍した時の種々の鋼の脱炭に及ぼす Si の影響。
W. Bankloh 及 W. von Kronenfels に依る。

時は脱炭速度は僅少なから上昇するのが見られる。

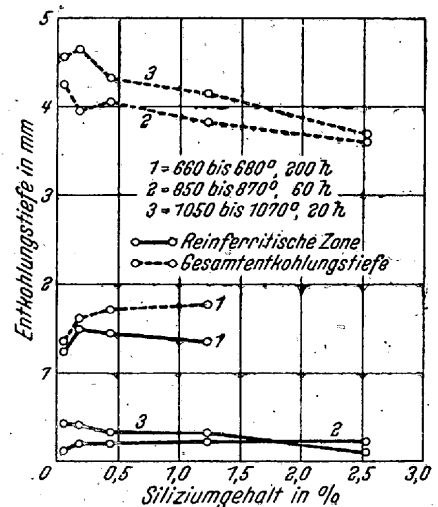
脱炭に關し種々矛盾した成績を得るのは多く次の諸點に基いて居る。即ち酸化焼鈍すると、固着性の酸化物を生成し、酸化現象を制限する諸合金元素の方が炭素の擴散速度に比して酸化速度が比較的大きく酸化を大に促進する合金諸元素に比して脱炭の程度が著るしい。譬へば E. Hondremont 及 H. Bennek³⁶⁾ が明かにしてゐる様に Si ばね鋼に於ては Si は脱炭が内部に深く滲透して行くのを阻止するけれども周邊脱炭に對する感度は大ならしめる。Bankloh 及共同者の實驗結果が其の他の文獻、報告や實際的經驗と一致しないのは水素で脱炭せしめた極めて薄い部分の炭素分析を行つて脱炭を測定してゐるので、一部は試驗法に制約されて居る様に思はれる。此の種の測定法は主として炭化物の分解速度を測定するものであるから、斯る場合には凡ての炭化物を生成する元素は脱炭速度を阻害する傾向のあると言ふ事になるのである。これに反して普通の脱炭現象に關係する脱炭ガスの滲透速度及び脱炭部への炭素の移動は完全にその作用が行はれるものでないから、その結果として鋼片に就て顯微鏡的に測定せられる或る深さを持つた脱炭部があらはれるのである。

各種合金添加元素を含む工業用鋼の一般的脱炭に際し、E. H. Schulz 及 P. Niemyer³⁷⁾ が脱炭深度を測定して (第 25 圖) Si 鋼に於ける脱炭は炭素鋼の場合と同様の速度で滲透して行くが W 鋼の場合は炭素鋼よりも急速に脱炭が行はれる事を確認してゐる。これに反して Mn 鋼及 Cr 鋼は炭素鋼よりも遅い。厚さ 1mm の周邊の炭素含有量を測定すると (第 25 圖) 脱炭された周邊層の深さが同一なるにも拘らず逆に Si 鋼の炭素消失は炭素鋼のそれよりも幾分大きい。

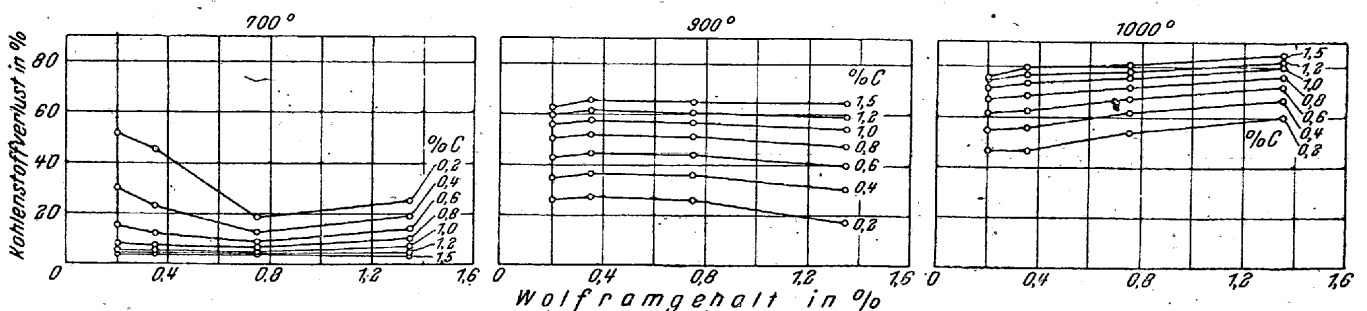
これより脱炭層の深度が同一にても炭素消失は必ずしも同一であり得ない事が推定される。何故ならばパーライト點の推移とか、或は同じ様に冷却しても臨界冷却速度の變化する爲定つた組織生成の

限界が變更するから。兎に角實際上は先づ第一にフェライト層の深さが問題になるのである。1100°C の最高脱炭温度の時は 4 ケの鋼とも炭素消失は略々同一である。A. Johansson 及 K. von Seth³⁸⁾ は純粹なる水素中で、1050°C にて 16h 脱炭せしめた場合 2% Mn 鋼, 2% Ni 鋼, 0.85% Cr, 2.2% Ni 鋼, 及 2% W 鋼は非合金炭素鋼と同一な脱炭性を有し、これに反して 1.75% Si 及 0.6% Mn の Si 鋼は脱炭が著しいが、1.3~1.6% Cr の Cr 鋼はこれより幾分少い事を見出した。

耐銹性の 14% Cr 鋼は斯様な脱炭條件に於ては脱炭量が極めて少い。各種のガス雰囲気的作用特に濕つた水素及 CO を多く含む爐ガスの作用に就ては W. E. Jominy³⁹⁾ が比較してゐる。概して脱炭の差異は見た所比較的微小である。濕つた水素中にて脱炭する時に

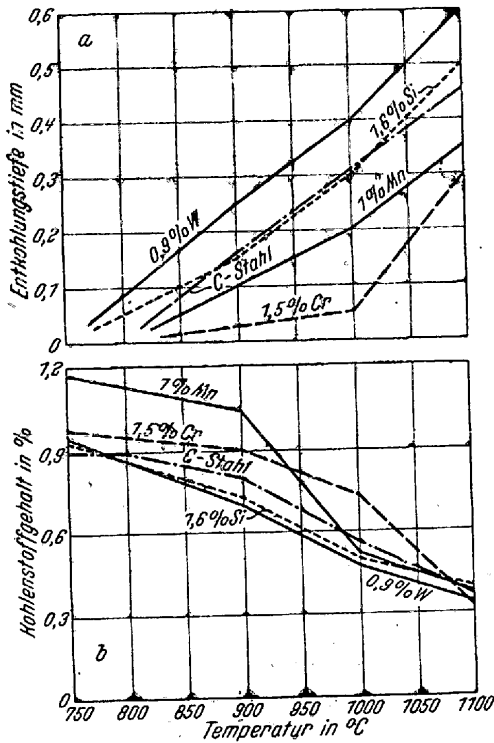


第 23 圖 濕氣ある水素中で焼鈍した 1% C 非合金鋼の周邊脱炭に及ぼす Si の影響。
A. Achterfeld に依る。



第 24 圖 乾燥水素中で 7h 焼鈍した時の種々な炭素量を含有する純鋼の脱炭に及ぼす W 量の影響。W. Bankloh 及 W. von Kronenfels に依る

非合金鋼特に酸性平爐鋼(7)及高周波爐鋼(11)(第26圖)を比較の基とすれば、Ni-Mo鋼(8)、Ni鋼(9)及Cr-V鋼(10)の



第25圖 脱炭の程度 a と周囲の炭素含有量、種々の成分を1h 空気中にて焼入。E. H. Schuk u. P. Niemeyer

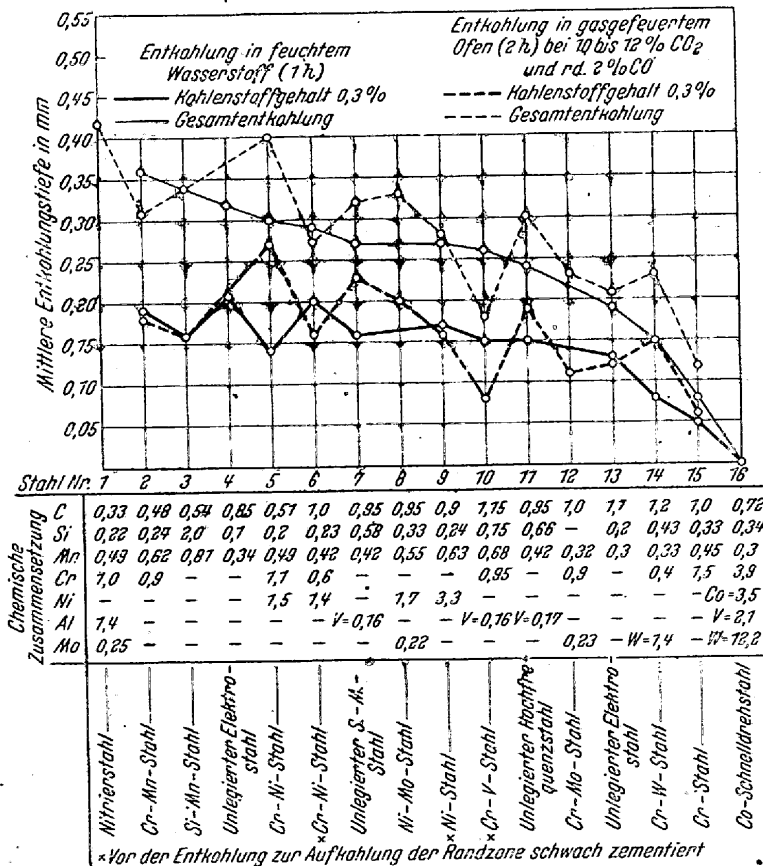
如き合金鋼も脱炭性の點では非合金鋼と同一であると言はなければならない。

比較の基礎として稍脱炭の著しい非合金電氣爐鋼(4)ともつと脱炭の少ない電氣爐鋼(13)を撰べば範囲が擴大されて2種のCr-Ni鋼(5と6)並にCr鋼(12)が脱炭の點では非合金鋼の分野に於ては加はることになる。非合金鋼より脱炭性の強いものにはSi-Mn鋼(3)並に低炭素Cr鋼(2)があり、脱炭性の弱いものにはCr-W(14)鋼がある。Co含有の高速度鋼は斯る焼鈍條件に於ては周邊脱炭は全然起らない。

約10% CO₂を含有する燃焼ガス中にて脱炭すると幾分變化はあるが略々同様な傾向が確認せられる(第26圖)。非合金鋼(7, 11及13)に比してSi鋼(3)は脱炭が著しい。Al含有の窒化鋼(1)に於ては周邊脱炭の感度は最大となる。更に又非合金鋼よりも脱炭性の弱いのはCr鋼(15)である。Cr-Ni鋼の性質は變化が多いが、其の内の一つは比較的強く脱炭してゐる。著しく脱炭性の弱い第2のCr-Ni鋼(6)並にCr-V鋼(10)にては初めに周邊滲炭に依つて炭素が入れてあるのである。此の様に2つのCr-Ni鋼に差異ある事及びCr-V鋼の弱い事は、炭素量の低い滲炭鋼は普通の熔解法にて製せられた高炭素量の工具鋼(40)に比して脱炭性が弱いと言ふ條件に依るものである。

この様な關係を考慮しないと、合金元素の影響を判定する際に混亂を惹き起す虞がある。

全體としては2個の相異つたガス雰囲気にて脱炭實驗をする際多くの低合金鋼に現はれる差異は比較用の非合金鋼の脱炭にあらはれるのと同程度であると言へる。Si鋼並にAl含有窒化鋼だけは脱



第26圖 異なる雰囲気中で870°にて焼鈍した時の種々の合金鋼の周邊脱炭。W. E. Jominy に依る。

第1表 酸化焼滅り及周邊脱炭に及ぼす合金元素添加の作用(多くの観測結果の概観)

合金元素	合金元素添加の作用に関する観測の數			
	酸化焼滅り		周邊脱炭	
	強化減少の場合	減少の場合	強化減少の場合	減少の場合
Al	-	6	1	1
Be	-	1	0	0
B	1	-	0	0
Cr	-	5	-	3
Co	0	0	1	-
Cu	-	1	1	1
Ni	-	2	1	-
Mn	1	-	1	-
Mo	-	2	5	1
P	-	1	0	0
Si	-	5	1	2
Ti	0	0	-	1
V	-	1	-	1
Zn	0	0	-	1
W	1	1	1	1

炭性が明かに著しく、一方 1.5% の Cr を含む含クロム工具鋼だけは確に脱炭性が弱い。

全文獻に指示されたところを完全に理解する迄には行かないにしても、本書に取上げられたものを第 1 表に於て概観すれば合金添加物の効果の判定には焼減りに關する限り、少くとも大體一致した見解に到達し得る様である。初めてその効果の認め得る程度や、その時の合金限界には屢々開きがあつたが、これは其の試験の際に用ひた焼鈍時間や溫度が夫々相異つてゐた爲である。焼鈍溫度を高くし、焼鈍時間を短くするのは、鍛造用のブロックや棒を豫熱の際酸化焼減りの程度を判定するのに大切な方法であるが、此の場合の合金の効果は寧ろ耐酸化性の判定を主に目標とした低溫度及び長時間の焼鈍條件の場合と同様ではない。周邊脱炭に就ては文獻報告數が概して少いのみならず、往々に異論の出て來る事もある。これ等の異論は屢々特に W 鋼及 Mo 鋼の場合であるが Baukloh 及びその共同研究者に依る觀察の結果の相反するものが多いのが目立つてゐる。

總 括

Al, Be, B, Cr, Co, Cu, Ni, Mn, Mo, P, Si, Ti, V, Sn 及 W 等の合金元素が酸化焼減りや周邊脱炭に及ぼす影響を此等の元素の一元及多元合金鋼に就て焼鈍雰囲気、焼鈍時間、及焼鈍溫度を種々に變じて研究した多くの研究者の觀測を經てて相互比較を行つた。酸化焼減りに就ての實驗結果は概して一致してゐるが、周邊脱炭に就ての結果には往々にして開きがあるので其の説明を試みた。

文 獻

- 1) Techn. Mitt. Krupp 2 (1934) S. 136/42,
- 2) Stahl u. Eisen 51 (1931) S. 65/67
- 3) Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engrs., Iron Steel Div., 100 (1932) S. 267/71.
- 4) Arch. Eisenhüttenw. 6 (1932/33) S. 155/60 (Werkstoffaussch. 189)
- 5) J. Iron Steel Inst. 130 (1934) S. 219/77; vgl. Stahl u. Eisen 54 (1934) S. 1322/23.
- 6) Arch. Eisenhüttenw. 9 (1935/36) S. 405/16 (Werkstoffaussch. 336).
- 7) Krupp. Mh. 14 (1933) S. 1/11.
- 8) Arch. Eisenhüttenw. 11 (1937/38) S. 131/38 Werkstoffausussch. 383.
- 9) Metallwirtsch. 12 (1933) S. 417/21.
- 10) C. R. Acad. Sci., Par's, 199 (1934) S. 1408/10.
- 11) In: Die Korrosion metallischer Werkstoffe. Bd. 1 Die Korrosion des Eisens und seine Legierungen. Leipzig 1936. S. 485/88.
- 12) Techn. Mitt. Krupp 2 (1934) S. 129/33.
- 13) Iron Steel Engr. 9 (1932) S. 260/66.
- 14) J. Iron Steel Inst. 125 (1932) S. 363/91; vgl. Stahl u. Eisen 52 (1932) S. 832/33.
- 15) Stahl u. Eisen 55 (1935) S. 1003/05.
- 16) Masch.-Bau Betrieb 16 (1937) S. 439/42.
- 17) Techn. Mitt. Krupp 5 (1937) S. 227/39.
- 18) Metals & Alloys 7 (1936) S. 69/73.
- 19) Z. anorg. allg. Chem. 154 (1926) Tammann-Festschrift, S. 267/74.
- 20) Z. anorg. allg. Chem. 143 (1925) S. 297/312.
- 21) Rev. Métall., Mém., 23 (1926) S. 155/78.
- 22) Rev. Métall., Mém., 31 (1934) S. 452/59
- 22a) Nach Mitteilung von Herrn H. J. Schiffler sind diese Untersuchungen von ihm durchgeführt worden.
- 23) J. Iron Steel Inst. 106 (1922) S. 103/54; vgl. Stahl u. Eisen 43 (1923) S. 202/03.
- 24) P. B. Michailow-Michejew: Stahl u. Eisen 54 (1934) S. 663/64.
- 25) F. Nehl: Stahl u. Eisen 53 (1933) S. 773/78.
- 26) E. Houdremont: Stahl u. Eisen 46 (1926) S. 1687/88.
- 27) Arch. Eisenhüttenw. 9 (1935/36) S. 201/02.
- 28) Arch. Eisenhüttenw. 11 (1937/38) S. 145/56.
- 29) Techn. Mitt. Krupp, A: Forsch.-Ber. 1938, S. 139/56.
- 30) J. Iron Steel Inst. 108 (1923) S. 179/88; vgl. Stahl u. Eisen 43 (1923) S. 1434.
- 31) Vgl. E. Houdremont: Einführung in die Sonderstahlkunde, Berlin 1935. S. 268.
- 32) Krupp. Mh. 13 (1932) S. 1/54.
- 33) Stahl u. Eisen 55 (1935) S. 1001/05 (Werkstoffaussch. 322).
- 34) Diplomarbeit, Tech. Hochschule Berlin (1931)
- 35) E. Houdremont: a. a. O., S. 330.
- 36) Stahl u. Eisen 52 (1932) S. 653/62.
- 37) Mitt. Vers.-Anst. Dortmunder Union 1 (1923) S. 110/19.
- 38) J. Iron Steel Inst. 114 (1926) S. 295/357; vgl. Stahl u. Eisen 47 (1927) S. 276/78.
- 39) Engng. Res. Bull., Ann Arber, 1931, Nr. 18; S. 24/28; L. H. Grenell: Metal Progr. 32 (1937) S. 244. u. 245.
- 40) E. Houdremont; H. Schrader und A. Clasen; Arch Eisenhüttenw. 9 (1935/36) S. 131/46 (Werkstoffaussch. 319).