

あるがこゝでは後述の實驗に使用した No. 5 の成分を示す。

Al_2O_3 13.09, SiO_2 18.6, Fe_2O_3 1.71, MnO 0.09, Na_2O + K_2O 0.636, Mg 0.52, MgO 0.23, 炭素質 60.45, 灼熱減量 63.5

一般にこれらの化合物は上述の如く炭素質のものと非還元性酸化物の混合したものである。炭素その他の元素は徐々に酸化物となり生成熱を發し非金屬物質は放熱を妨げ熔鋼の凝固を遅くする。以前にはこの中の炭素質が熔鋼に吸収せられる事もあつたが最近では上表のやうに炭素質の多いものでも吸収量は極めて少量となつた。

次に普通の押湯法と化合物を使つた場合と、後者に追注ぎを併用した3種の異つた方法で鑄込んだ鋼塊について收縮孔の範圍を調査した。鋼塊は 67 cwt でこれを 9×9 in の大鋼片に壓延し頭部より 20% の範圍につき断面の硫黄印畫法及び化學成分の分布を調べた。その結果によれば化合物の粉末を散布し乍ら追注ぎを行つたものが最もよく、押湯のみの場合が最も劣つてゐる。

石棉板を使用する方法 鑄込後熔鋼面の凝固を遅くする爲め前述の粉末の代りに石棉板で熔鋼面を覆つた。板の厚さは 1/8 in にすぎないが追注ぎは充分になし得た。然し期待したやうな成績は得られなかつた。

凝固を遅くした場合の頭部偏析に對する影響 硫黄印畫法で調べた所では上記粉末を使用したものは偏析部が最も頂部に近く押湯のみのものは頂部より稍離れてゐる。又偏析の濃度を知るために前述の壓延鋼片につき分析した結果石棉を使用したものも皆一様に断面の中心部が最も偏析著しい。然し石棉を使用したものは化合物を使つたものに比べて偏析度が小さい。これは凝固が大して遅くなかつた事によるものと思はれる。その他特に變つた點は收縮孔の末端部と偏析部とが繋つてゐない事である。

結果に對する考察 Andrew の實驗によれば鋼塊の頭部偏析は S, P その他の不純物に富んだ混和し難い液狀合成物が出来るためであると發表してゐる。然し多くの人はこの偏析の主原因は非常に不純物に富んだものと然らざるものとの2種の共存溶液の乳劑で取鍋或は鑄型内て各液が独自の状態で分離すると見做してゐる。然し乍ら實際の場合には二つの共存溶液が2種の液相に完全に分離する事が起りさうにもないと言ふ點で反對がある。更に又本問題の説明に熱平衡圖による事も考へられるが多元系である爲完全になし得ない。即ち冷却が早いと平衡に達しないから最後の溶液は互に關係なく凝固する2溶液となるから従つてその凝固面には明瞭な境界が見られる可きであるが事實は相違する。

以上のやうに偏析の主原因が凝固の差異に因るとする説には色々の點で反對がある。著者は凝固の差異は鋼塊の偏析の根本原因ではあるがそれだけでは完全な説明をする事が出来ないと斷言する。特に著しい偏析と凝固の遅いと云ふ二つの點が關係する點からも考へられる事である。更に又凝固差異説による時は最後に凝固する部分は最も不純物に富んでゐる可きである。然し上述の如く調査結果では收縮孔と偏析部との間には事實上等連絡がない。本實驗では頭部の凝固を遅くした場合のみ偏析部は一次收縮孔の末端部に近づくものであると云ふ事を確め得た。(岩 藤)

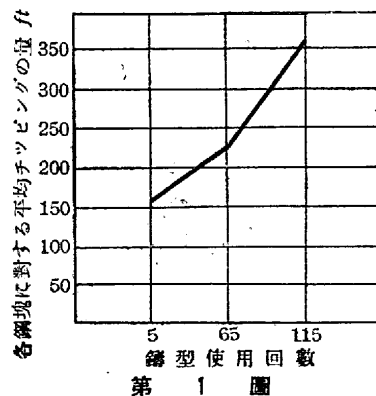
鎮靜鋼の鋼片肌の良否に及ぼす鑄型の役割

(Forsyth, H. J.: Blast Furn. & St. Plant, June, 1941, p. 609)
條鋼の表面の良否はそれを壓延する鋼片の表面肌の如何による。良好なる表面肌を有する條鋼を得るには、小鋼片又は鋼片の表面の缺陷をチツピング又はスクーフィングで除去せねばならぬ。然し先づ

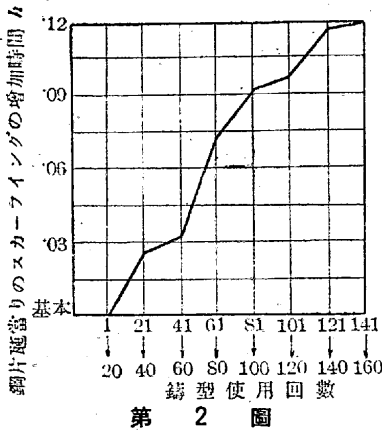
良い肌の小鋼片又は鋼片を作ることが必要である。これは結局良好な表面を有する鋼塊を作ることの問題になる。こゝでは鋼塊及び鋼片の肌に對して鑄型の役割がどんなに重要であるかにつき實驗結果を以て述べる。實驗には 100 吨及び 200 吨鹼基性平爐の鎮靜鋼を使用した。鑄型は 20 in × 20 in のガスマン型を使用し鋼塊の重量は 7,200 lb である。鋼塊は均熱爐で加熱して 6.5 in × 5.25 in 鋼片に壓延した。そして各鋼塊は約 24 ft の2本の鋼片となした。鋼片の鋼塊に對する歩留は約 81% であつた。

鑄型塗料 鑄型には塗料を塗るのが原則である。適當に塗料を塗つた鑄型を使用すると鋼塊の小割疵の數を減じ又鋼片の肌の疵を減らす。種々のものが塗料として使用されるが、鎮靜鋼に對してはタールと粉ピッチが最も効果がある。實驗として鑄型にタールを塗つたものと塗らぬものに熔鋼を注ぎ鋼塊を作り、之を壓延して鋼片を作り酸洗して總ての表面の缺陷をチツピングで除去した。鋼質は SAE 1045 細粒鋼であつたがチツピングによつて除去した部分の長さの總計は、内塗りした鑄型よりの鋼片では尠當り 219 ft であつたが内塗りせぬ鑄型よりの鋼片は 392 ft であつた。他の鋼種 (C 0.25 ~ 0.85) も同様の結果を示した。又 C 0.25 以下の鋼塊は小割疵が極めて出易いものであるが實驗した所、内塗りした鑄型から作つた鋼片は外面疵の出方は内塗りせぬものに比し 1/3 位であつた。然し鑄型の内塗りも不適當に行へば却つて悪影響を與へることもある。タールもピッチも揮發性のものであるから過多に塗ると鋼塊の元の方に細かい縫目状疵の密集を作ることがある。タールの最適當な使用は鑄型に薄く全面に塗布することである。かくするには豫熱したタールをスプレーで行ふとよい。然し又鑄型の溫度を適當にせねばならぬ。タールの種類にもよるが 300 ~ 450°F がよい。鑄型の溫度 450°F のものと 125°F のものにタールを内塗りして作つた SAE 1050 鋼塊から延した鋼片を比較するに、125°F の方は小さな外面疵が多く、チツピングの量が約 3 倍程多かつた。但鑄型をタールに漬ける方法又はブラシで塗る方法は鑄型の溫度が如何やうでも厚くつき過ぎて鋼塊肌はよくない。ピッチの場合はタールより揮發分は少いが鑄型の溫度は 200°F 以上になることを要し、タールの場合より稍良い鑄肌が得られる。

鑄型の壽命 鑄型は急熱を再三繰返す爲に龜裂を生ずる。最初底部に生ずるが次第に全面に及ぶものであるから使ひ古した鑄型を使用すると良い肌の鋼塊は得られぬ。實驗として 5, 65, 115 回使用した鑄型に SAE 1045 細粒鋼を鑄込んでその鋼塊を延した鋼片のチツピングの量を調べた。その結果は第1圖に示す如くである。但鑄型の状態は5回使用のものは龜裂なく65回のは鑄型の半分迄龜裂が入つてをり115回のは上部から6 in を除いて龜裂が入つてゐ



た。第1圖に示す如く古鑄型のものにはチツピングの量が5回使用の鑄型のものに比し 143% も増加してゐる。そして疵の發生は鋼塊の底部に相當する個所に多い。又鑄型の龜裂の發生は鑄型の休止時間が短かく連続的に使用するときには發生が多い。鑄型の休止時間を短かくして使用したときは 40 ~ 45 回で龜裂を生じ鋼塊肌は不良にな



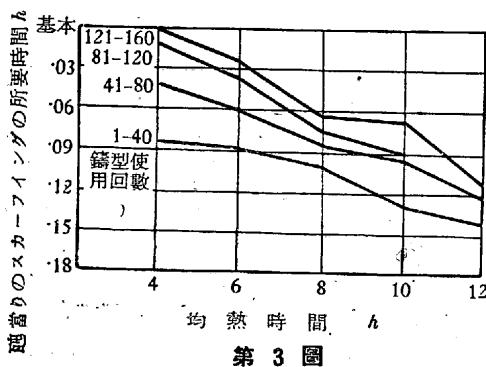
第 2 圖

るが、鑄型の休止時間を長くしたときは 65 回位から龜裂が出来る。故に鑄型を酷使すると鑄型の壽命を 30 % 程短かくする。第 2 圖は鑄型の壽命と鋼片に生じた疵を除去するに要したスカーフィングの時間との關係を示す。

鑄型の壽命と鋼塊加熱作業との關係 鎮靜鋼に於ては鋼塊肌に存する氣泡又は

小さな缺點は均熱爐で加熱中にスケールとなつて除去出来る。

故に加熱時間を長くすれば表面疵の少ない鋼片が得られる。第 3 圖



第 3 圖

は使用回数の異つた鑄型より作つた鋼塊より歴延した鋼片が、均熱時間の變化によつて疵の出方が變化する状態を示したもので加熱時間が長い程鋼

片のスカーフィングの時間が短かく疵の發生の少ないことを示してゐる。尙この均熱爐は高爐ガス 7, コークスガス 1 の燃料を使用し鋼塊の標準加熱時間は 4h である。(菊池)

6. 鐵及び鋼の加工

熱處理した高速度鋼の表面狀況

(Morrison, J. G.: Trans. A. S. M. 29 (1941) No. 2 p. 470)

本論文は、2,350°F (1,290°C) より焼入した 0.60%, 0.70% 及び 0.93% C を含有する 18-4-1 高速度鋼に就きその表面より 0.001~0.012in の間の炭素含有量の變化に及ぼす加熱雰囲気、加熱時間、硼砂による被覆及び鋼材の組成 (炭素含有量) 等の影響を調査し、同時に組織検査、マイクロ硬度の測定結果をも報告したものである。

加熱雰囲気及び加熱温度は主として次表の如きものを用いた。

雰囲気	加熱温度	CO ₂ %	CO%	O ₂ %
B	1,550°F (843°C)	15.6	2.0	0.00
E	2,350°F (1,290°C)	10.8	10.0	0.00
F	2,350°F (1,290°C)	12.7	0.00	2.5

先づ 0.70% C 18-4-1 鋼に就き 2,350°F に保持する時間による表面層の炭素含有量の變化を表面より 0.003in 毎に 3層に互つて測定した。試片は 7/8in, 長さ 4in で 1,550°F に 20mn 2% CO 中で豫熱後、10% CO 中で 2,350°F に 1/2mn より 10mn 迄保持した。1/2mn 保持したものは表面より 0.003in 迄の第一層及び 0.003~0.006in の第二層に於ける炭素含有量が原料のそれより低下し、以後保持時間が長くなるとともに第一層の炭素量は急激に増加し、4mn 保持したものでは 0.85% に達した。更に保持時間を延長すると漸次炭素量は減少し、保持時間 10mn のものの第一層の炭素量は 0.81%, 第三層 (0.006~0.009in) の炭素量は 0.73% となつた。即

ち鋼材表面は、一定の脱炭現象が起つた後加炭作用を受け、加熱時間 4mn で表面の炭素吸収量は最大となつた。

加熱雰囲気中の炭素吸収量に及ぼす影響は、7/8in φ, 長さ 5in の試片を 1,550°F に 20mn, 2% CO 中で豫熱し、2,350°F に 4mn 10% CO 中及び 2.5% O₂ 中で加熱して調査した。その測定結果を示すと次の如くである。

鋼材	加熱雰囲気	表面より 0.001 0.0015 0.002 0.004 0.006 0.008 0.012 in の距離						
		0.001	0.0015	0.002	0.004	0.006	0.008	0.012
0.60% C 18-4-1	10% CO	0.850	0.740	0.720	0.660	0.635	0.620	0.600
	2.5% O ₂	0.770	0.780	0.770	0.710	0.670	0.650	0.610
0.70% C 18-4-1	10% CO	0.900	0.840	0.820	0.760	0.730	0.715	0.700
	2.5% O ₂	0.850	0.900	0.890	0.820	0.780	0.755	0.720

即ち 10% CO 中で加熱したものの加炭狀況は、0.60% C 鋼及び 0.70% C 鋼の何れに就ても大體同様の傾向で、2.5% O₂ 中で加熱したものは CO 中加熱のものより炭素含有量曲線の傾斜が緩かである。

0.93% C 18-4-1 鋼では何れの雰囲気中の加熱に於ても表面より 0.003in 迄に 0.03% 程度の炭素量増加があつたのみでそれ以上の擴散は認められなかつた。かくの如き加炭状態は顯微鏡的に識別することは困難であつたが、表面に深さ 0.005in 程度のピットが多數發生して居り、このピット及び結晶粒間に C が外部より吸着或は侵入するものと思はれる。これは酸化物より來る發生機 C が鋼材表面に接觸し或は加熱雰囲気中より C が遊離析出する結果起る。この際の 0.93% C 鋼と 0.70% C 鋼の酸化損失を試片の直徑の減少によつて測定すると、10% CO 中加熱のときは 6.5 對 1 の割合であり、2.5% O₂ 中加熱のときは 2 對 1 の割合であつた。又 0.70% C 鋼のみに就ての 10% CO 中と 2.5% O₂ 中加熱の酸化損失は、1 對 3 の割合であつた。従つて 0.93% C 鋼の酸化損失は加熱雰囲気には殆ど影響せられぬのである。酸化損失は 0.95% の C を含有する表面で非常に急速に進行するものと考えられ、18-4-1 鋼は本試験の如き條件で 2,350°F に加熱すると次第に表面の炭素量は 0.95% に近くなり、こゝで酸化が起ると思はれる。

(I) 試料	2,350°F の加熱雰囲気	表面より 0.002in 迄の距離 (±0.0002in)	H _{RC}	マイクロ硬度 (荷重)g		
				2,000g	1,000g	500g
0.61% C 18-4-1	10% CO	0.0014	63.3	781	806	795
		0.0154	63.1	723	726	744
0.61% C 18-4-1	2.5% O ₂	0.0014	63.3	790	832	861
		0.0154	63.1	736	734	753
0.70% C 18-4-1	10% CO	0.0014	65.1	833	825	870
		0.0154	65.0	764	799	812
0.70% C 18-4-1	2.5% O ₂	0.0014	65.1	831	845	907
		0.0154	65.0	803	818	808

(II) 試料	熱處理	表面より 0.002in 迄の距離	H _{RC}	マイクロ硬度		
				2,000g	1,000g	500g
0.74% C 18-4-1	2,350°F 油焼入	0.0007	65.1	689	658	697
		0.0012	66.1	787	778	795
0.74% C 18-4-1	1,050°F 1.5h 焼戻	0.0013	65.7	841	877	894
		0.0011	62.0	538	513	532
0.92% C 18-4-1	1,050°F 1.5h 焼戻	0.0016	67.0	728	689	712
		0.0017	68.0	820	856	878

(試片 3/4in φ, 長さ 1in, 加熱雰囲気 10% CO)

鋼材を珪砂で被覆した場合の効果は、何れの試料にも亦何れの加熱雰囲気にも著しい影響が認められなかつた。

マイクロ硬度は、0.61%, 0.70%, 0.75%, 0.92% C の 18-4-1 鋼に就て 2,350°F より焼入し、1,050°F (566°C) 1.5h 焼戻し、1,080°F (582°C) 1.5h 再焼戻しを行ひ、表面より 0.0014~0.0154in の範囲を測定した。その結果は前表の如くである。

即ちマイクロ硬度は、何れも表面下 0.0014in の處が表面下 0.0154in の處より高い。0.61% C 及び 0.70% C 鋼に於ける表面下 0.0014in の硬度は 2.5% O₂ 中で加熱したものが 10% CO 中で加熱したものよりも高い。これは 2,350°F で吸収した C による結果で、組織的には表 (II) の硬度試験より判る如く表面層に相當量の残留オーステナイトが存在し、これが再焼戻しによつてマルテンサイトに分解したことが認められた。

その他 0.80% C, Mo-F 高速度鋼及び 0.75% C, Mo-W 高速度鋼に就ても試験したが、結局加熱による加炭状態より判断すると加熱雰囲気各鋼材に就て選擇するよりも、適當な加熱雰囲気に対して適當な組成を有する鋼材を選擇するのが有利であらうと結んでゐる。(田中賢)

7. 鐵及び鋼の性質並に物理冶金

クロム・シリコン鑄鐵

(Norbury, A. L. & E. Morgan: Found. Tr. J., Feb. 15, 1941 137 頁) 合金鑄鐵で Cr と Si とを多量に含有してをるものに 1931 年英國で H. J. Young が發表した "Loded Iron" がある。之は Si 2.5~7%, Cr 1~4% の鑄鐵であつて耐摩滅性が著しく良好と云ふ事で内燃機關、主としてディーゼル機關のシリンダ入り子等に應用して成績が良いと云ふ事の報告があつたが、一般には餘り應用が廣まらなかつたやうである。本論文は之等の事に刺戟されたものと見え組織的に鑄鐵で 1~11% の Si と 0~15% の Cr との範圍の成分のものを試験爐にて造り、各種試験片を造つて機械的諸性質、例へば抗張力、抗折荷重、撓み、ブリネル硬度、加工性等を調べ又顯微鏡組織を調べた。試料は 50lbs 宛コークス焚ルツボ爐でサラマンダールツボで熔し、配合材料は瑞典白銑、アームコ鐵、フェロシリコン、フェロクロム、フェロマンガンをを用ひ、試験片は生型で直径 1.2, 0.875, 0.6, 0.4in の長さ 16in のものを鑄込んで造つた。之等の試験片に依る各種試験結果を要約すると次の如きものである。

(1) 69% Cr のフェロクロムを 1%, ルツボで加へると出來上つたものの Cr は 0.6% に保つ事が出來た。

(2) Cr を増すとパーライト及び二次セメンタイトの安定度を増す。そして黒鉛炭素がへつて來て白銑共晶組織が現はれてくる。併し自硬性は別に出てこない。即ちパーライトがマルテンサイトにおきかへられ易くなるやうな事は認められぬ。

(3) 普通の程度の炭素量の鑄鐵では Cr 1% に依つて生ずるチルの影響を緩和する爲には 1% の Si を増せば適當してをるやうである。

(4) Cr はブリネル硬度を増し、機械加工性を不良ならしめる。又一般に強度は増すが撓みは減少する。

(5) クロム量が増すにつれて變る白銑共晶の形は丁度フェライト地の中に出來る炭化物が炭素がますます増すにつれて變る程度と同じやうな経路をとる。

(6) クロムは白銑共晶の凝固點を上昇せしめる。

尙其等の試験結果の内 Cr-Si 鑄鐵の主なるものを示せば次の如く

である。

試片	T.C	Si	Cr	抗張力 t/in ²	抗折力 t	撓量 in	ブリネル 硬度	反覆衝 撃回数
1	2.66	4.20	0.56	14.0	26.0	—	281	577
2	2.52	4.90	3.48	—	22.0	0.13	299	1,148
3	2.49	5.04	0.56	15.3	30.0	0.16	217	46
4	2.81	2.73	0.51	22.6	35.0	0.22	263	2,061
5	2.78	5.86	2.33	—	10.0	0.08	235	1

尙機械加工性は 0.875~1.2in 丸棒迄は普通の炭素量の場合 Si が 2% 位あると Cr 1% 追加へても高速度工具鋼で加工出来るが Cr がそれ以上になると斑白組織になつて加工が困難となる。又 Si が 5% 位ある鑄鐵では Cr が 4% でも加工が出来る。尙 Si 5% の鑄鐵では Cr を 0.56 から 1.66 にましても抗張力は大きく上昇しない。しかし反覆衝撃値は Cr をますと此場合増加する。それは組織のフェライト地がパーライト地に變化するためである。何れにしても Si 5% 程度の鑄鐵に相當の Cr を増したものを研究すれば十分應用の可能性があるやうに思はれる。(齋藤)

引拔用及び成形用型材料としてのクロムモリブデン鑄鐵

(Found. Tr. J., May 1, 1941, 299 頁) 最近相當用ひられる引拔用型や成形用型の材料は Ni, Cr, Mo 鋼等の高價な材料であつて之が鑄鐵で代用出來れば甚だ經濟的な事は申す迄もない。鑄鐵で出來れば第一製造費も安く一旦模型が出來れば同じ物は何回も鑄造が出来るから故障の起つた時に直ぐ補給がつくし、又成分の調節さへよくゆけば機械加工も遙かに容易である。又使用してみて鑄鐵の中に含有されてある黒鉛炭素の有する所謂自己潤滑性とも云ふべき特性が型の壽命に相當好影響を與へる事も考へられる。今日出來る適當な合金鑄鐵であれば鑄放の儘でも相當な強度をもつてをるし又其上に急速加熱に依る曲部表面硬化、所謂焠硬化が出来るから磨滅し易いところに其を應用し極めて好都合に型を造る事が出来る。之等の各種の利點に氣付いて特殊鑄鐵を引拔用型其他の成形用型に應用し始めたのが Detroit の Acme Foundry Co. である。其處で各種合金鑄鐵を研究し型用材として "Hi-Tensilloy" の商名で市場に賣出してをるがその保證強度は 22t/in² であり又試験片の硬度は鑄放の儘でブリネル 223~241 である。之を焠硬化によりブリネル 450~600 の硬度に上げる事が出來又その硬化層の厚みも 3/32in 位に達する事が出来ると云ふ。尙又この鑄鐵は熱處理も可能であつて 840°C に加熱して油冷すると 6in 角の試験材で表面の硬度はブリネル 550 に達すると云ふ。この種合金に一種あつて "Hi-Tensilloy" R と云ふ方は焠硬化をせず型や其他の機械鑄物に用ひ "Hi-Tensilloy" F と云ふ方が焠硬化をして引拔用型や其他の成形用型に用ひる。この F の方の成分の代表的一例は T.C 3.30; Si 1.60; Mn 0.80; P 0.18; S 0.08; Cr 0.50; Mo 0.30 (最小) である。

之等の鑄鐵の焠硬化後の顯微鏡組織を見ると層状パーライトが針状組織に變つてをる事が認められるが尙内部の鑄放の儘の組織の間もさうひどい組織の變化が認められない。若し Cr や Mo が無い鑄鐵であるとすると焠硬化を行つても遊離フェライトは黒鉛炭素の析出の著しい處が存在して完全な硬化層が得られないのが普通である。尙此種鑄鐵は焠硬化に依つても只少し變色する丈で別段スケールが出来る譯でなしそのまま使用しても少しも不便は生じない。又型としての大きき位のものでは焠硬化によつて特に著しい成長や變形が生じないのが實績である。只焠硬化をして故障の起る事を防ぐ爲には特に肉厚の急激な變化をさけるやうな設計をする事が肝要であつて鋭角部や薄いフランジ部等に焠硬化をする事は餘程の熟練を要

し、さもないと龜裂を生じ易い。何れにしても鑄鐵に焼硬化を施して用ひる事はいろいろの利點があり今後益々應用が旺んになる事と思はれるが其成分、形、加熱方法等をよく研究して行へば鑄物技術者にとって最もよい應用方面を示唆するものであらう。今日自動車製造業者ではフェンダー引抜用型等に此種鑄鐵を應用し、1,500,000個を製作してみても尙磨減個所の少なかつた事を軽減してをるところもあり、其他燃料タンク、冷却用隔壁、ストーブ、洗濯機械用部品の製造用型としてもかかる合金鑄鐵の應用を試みて成功してをると云ふのを見ると我國でも今後充分研究する必要があるものと思はれる。(齋藤)

炭素鋼へのマンガンの影響

(Thomas, B.: Heat Treat. & Forg. 26, 1940, 124~127) 次の2種の鹽基性平爐炭素鋼の厚さ 1/8 in 壓延板より 7 in x 1 in の試験片を採取し、ブリネル硬度計を利用し支點間距離 6 in として特殊の曲げ試験を実施した。B 試料は Mn, S が高く C は A 試料が僅

試料	C	Si	Mn	P	S
A	0.54	0.141	0.67	0.031	0.036
B	0.53	0.138	0.81	0.038	0.052

かに高い。調質材に就ての試験結果は次表の如く A 試料は 240 kg の荷重で撓みは無限度に達するに反し、B 試料は更に強靱であることが判明する。

荷重 kg	A		B	
	負荷中の撓 in	残留撓 in	負荷中の撓 in	残留撓 in
50	0.08	—	0.075	—
75	0.12	—	0.11	—
100	0.18	—	0.15	—
125	0.25	—	0.19	—
150	0.32	0.06	0.23	0.005
180	0.50	0.17	0.29	0.015
200	0.78	0.38	0.34	0.03
220	1.00	0.54	0.39	0.05
240	無限度	—	0.44	0.07
260	—	—	0.50	0.09
280	—	—	0.62	0.17
300	—	—	0.73	0.22
320	—	—	0.89	0.32
340	—	—	1.00	0.40

無限大

種々の熱處理状態を比較すれば、焼鈍状態では殆ど差なく、壓延の儘のものは試験初めは B 試料が優り、加工硬化を生ずれば差を認めず、焼入焼戻状態では B 試料が優ることが明かである。

(前田)

炭素鋼鍛造材へのチタンの影響

(Comstock, G. F.: Heat Treat. & Forg. 26, 1940, 26-27, 33) 既に C 0.37% の炭素鋼に對し Ti 0.33% は結晶粒成長温度を著しく高くするが、Ti 0.04% は假令相當量の Al を共存するもこの影響のないのを確めた。著者は更に C 0.32~0.41% の炭素鋼 14 種を鹽基性高周波爐で熔製し、之に Ti 0~0.49% (内 2 種は Zr 0.05, 0.11%), Al 0.075~0.15% を添加し、17 lb の小鋼塊を鑄造し、之を縦に切斷して、半分を 1 in 角に鍛造し、他の半分はマクロ腐蝕し、之に就て樹狀晶に及ぼす Ti の影響を検し、鍛造材は角盤に切出し熱處理して成長開始温度を測定した。

Ti は樹狀晶の除去に著しい効果を有し、Ti 0.105% を含めば樹狀晶は極めて微細となり、Ti 0.15% 以上で消失する。

鍛造材の結晶粒度は ASTM 標準の 7~8 を示し、1 種のみが 6~7 を示した。之を種々の温度に 8 h 保持して爐冷し、同様に ASTM 粒度を検して成長開始温度を測定した。この結果は次表の如くである。

熔番	Ti %	Al 添加量 %	成長開始温度	
			°F	°C
147	—	0.10	>1850	1010
149	—	0.15	>1800	982
156	0.105	0.05	>1850	1010
155	0.105	0.10	"	"
154	0.12	0.15	>1900	1038
151	0.15	0.15	>1750	954
153	0.24	0.05	>1950	1065
152	0.24	0.10	"	"
159	0.27	0.15	"	"
161	0.30	0.05	"	"
157	0.375	0.05	"	"
158	0.39	0.10	"	"
162	Zr 0.036	0.10	>1850	1010
163	Zr 0.098	0.075	>1700	927

此の結果、添加 Ti 量でなく鋼中の残留 Ti 量が 0.2% 以上であれば、成長開始温度は 1065°C 以上になるを認められる。この場合豫め Al で脱酸した後低炭素のフェロチタンを添加するのが有効である。同量の Al 又は Zr は Ti に比し影響が小であるのは注意される。(前田)

顕微鏡組織と被削性

(The Iron Age 147 (1941) 44/49) 本實驗は SAE 鋼を用ひてある航空機用傘齒車を製作するに際し、鋼に種々の熱處理を施し何れの熱處理が齒車製作に必要な各切削工程に對して最適であるかを調べたものである。本實驗に於ける齒車製作の切削工程は先づ自動工作機械に齒車素材を取付けて、端ぐり、總形削り、穿孔等の 5 種類の切削作業を自動的に行はせて齒車の大體の形を作る。これで自動切削工程を終へ次に齒車の軸を通す孔をブローチ仕上し、次にはベベル面を旋削仕上げし、最後に齒切機械により齒面の荒削りと仕上削りを行ふのである。上記の各切削工程に於て齒車素材の被削性の優劣を判定するには、本實驗に於ては自動切削の場合はスピンドルの同轉数を一定とし一定時間内に一定数の齒車を切削する條件のもとに、仕上面が良好で且工具の磨減が少いものを被削性が良好であるとし、自動切削以後の諸切削工程に於ては仕上面の良好なるものを被削性が良好であるとした。被削性の判定には切削の際に生ずる切屑の形、色、硬軟等の綜合觀察により經驗的に被削性の良否の判斷が可能であつて、本論文には各切削工程に於て生じた切屑の状態が詳しく述べてあり更に又切屑の寫眞もある。

さて本實驗に用ひた試料(第 1 表)は 3 種の SAE 鋼であり、各

第 1 表 試料化學成分表

鋼種	C	Mn	P	S	Cr	V	Ni	Mo
SAE 3250	0.47	0.44	0.017	0.012	1.0	—	1.81	—
SAE 4350	0.47	0.65	0.015	0.020	0.84	—	1.80	0.20
SAE 6150	0.50	0.59	0.018	0.016	0.19	0.95	—	—

鋼にそれぞれ次の 3 種の熱處理を施した。

1. Ac₁ 以上で焼鈍したパーライト組織
2. Ar₁ 及びその附近に於て長時間加熱して得られた球狀化組織
この場合は粗いフェライト結晶粒の地に球狀セメンタイトが分布してゐる。

3. 焼入焼戻による球状組織, この場合は細かいフェライト結晶粒の地に球状セメントライトが前の2の場合よりも密に分布してゐる。

次に本実験に用ひた工具は總て5% Co を含む高速度鋼であり、但ドリルのみは標準の高速度鋼であつた。

実験は先づ自動工作機械のスピンドルの回轉數を 343 rev/min として行つた。その結果は第2表中の總形削りと端ぐりに就いて表面

第2表 傘齒車切削諸工程に於ける表面仕上度

鋼種	熱處理	ブリネル硬度	總形削り	端ぐり	プローチ通し	ベベ面旋削り	齒面荒削り	齒面仕上削り
SAE 3250	焼鈍による球状化	187	可	可	良上	良上	優秀	良
	焼鈍による球状化	184	良	良	良	不可	不可	不可
	焼入焼戻による球状化	188	良	良	良	良	可	不可
SAE 4350	焼鈍による球状化	203	大不可	良	良	可	可	良
	焼鈍による球状化	185	可	良	可	可	不可	不可
	焼入焼戻による球状化	197	可	可	良	可	可	不可
SAE 6150	焼鈍による球状化	175	不可	可	可	良	不可	可
	焼鈍による球状化	156	可	可	可	不可	不可	不可
	焼入焼戻による球状化	166	可	可	可	大不可	大不可	大不可

仕上度を示す。この場合は SAE 3250 及び SAE 4350 に對しては焼入焼戻による球状組織が表面仕上が最良であり、SAE 6150 に對しては焼鈍による球状組織が最良であつた。尙 1h 切削後の工具の磨滅は何れの鋼の何れの熱處理に於ても顯著ではなかつた。

次に上記の表面仕上が良好な熱處理のものに就き自動工作機械のスピンドル回轉數を前の場合より更に多くして切削した結果は、表面仕上と工具磨滅の點より見て SAE 4350 が最良の被削性を示した。この SAE 4350 の焼入焼戻による球状組織のものを更にスピンドルの回轉數を上げて切削した結果、3h 後に於ても工具磨滅は顯著でなく表面仕上も相當良好であつた。

次に自動切削以後の諸切削工程に於ける表面仕上度を第3表に示す。この場合は焼鈍によるパーライト組織が何れの切削工程に於ても最良の表面仕上度を示した。

以上述べた如く顯微鏡組織と被削性はそれぞれの切削工程によつて區々であり、ある切削工程に於て良好なるものが他の切削工程に於ては不良の結果を生ずる。

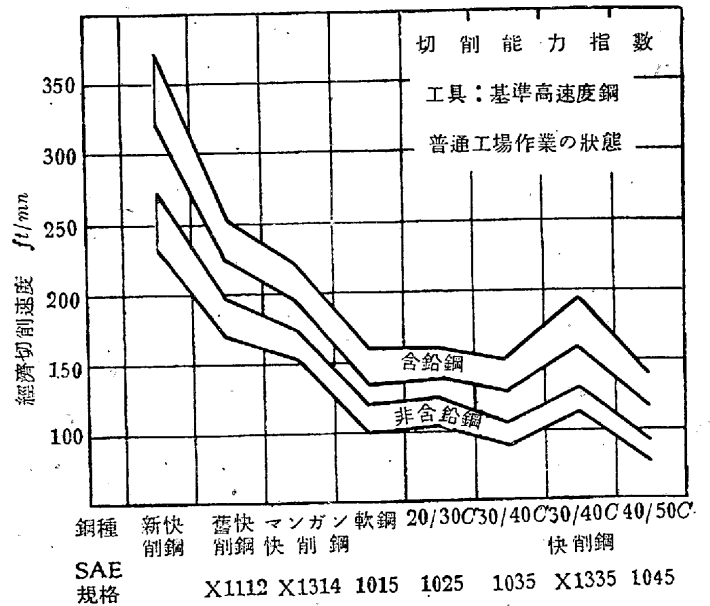
尙、齒車切削終了後ロックウェル C 硬度 48~52 に各鋼の齒車を調質して歪を検査した結果は總ての齒車のうち焼鈍による球状組織のものが最少の歪を示した。(井手)

含鉛鋼に依る多量生産の結果に就て

(Metallurgia, Aug. 1941 p. 99) 平時に於ける生産設備の儘で戰時に於ける極めて膨大な需要に應ずる爲には、生産機械の工具の改良と共に多量生産に適した材料を使用し機械切削を高速化する事が必要である。この爲には使用材料の機械加工性を改善する事に勉めなければならぬ。此の主旨に依りこれ迄の研究の結果得られたのが所謂快削鋼 (Free Cutting Steel) であり、鋼に硫黄と磷を加へて機械加工性を増したものである。快削鋼が出来た事に依つて得られた結果は著しいものであつたが、兵器に良く用ひられるやうな炭素鋼や合金鋼に對しては遺憾ながら此の原理に依つて快削性を與へんとすれば強靱性、耐蝕性、鍛造性や焼入性等を損ふと云ふ不便があつた。所が最近この問題は鉛を平爐鋼に極く少量加へる事に依り新しい解決を見た。鉛を少量含有する鋼の切削性が良いと云ふ事

は最初 Robbins に依つて報告され續いて他の人々に依り確實なデータが與へられたのである。試験の結果は何れも鋼に適當量の鉛を加へると切削性が非常に改善される上、特にこの方法の特徴は、鋼の物理的或は化學的性質は、鉛を加へる前と殆ど變化せぬ事である。鉛の量は極く少量即ち 0.20~0.25% であるが如何なる鋼種に加へても機械加工性に對する影響は著しいものがあり 0.10% 以下でも明瞭に認める事が出来、含有量が 0.3% 以上に増加すると生産増大に大きな効果を及ぼすやうになる。

含鉛鋼一所謂 Ledloy—は最初ネヂ用素材として多量に用ひられたが暫時にして凡ゆる種類の鋼に付て成功を収め今や鉛は製鋼界に於て強力熱處理鋼の切削性を改善するのに重要な合金元素であると考えられるに至つた。様々の機械を使用し條件を種々に變じた實際の生産試験の結果も夥しく有り何れも含鉛鋼は生産力を増大せしめて居り、時には實驗室で期待される最大値をも超えて百パーセント以上の生産増大を示した例もある。之等のデータ中に使用された機械には舊式の物もあり最新型の物もあるが、報告に依れば機械が良好な程含鉛鋼使用に依る生産増大が著しいとの事である。Ledloy を使用した時には之に許されてゐる切削速度を使用する事が必要であり、第1圖は各種の鋼に就て、工具の壽命其他から最も



効率が良いと思はれる經濟切削速度を示したものである。勿論切削速度は工具の狀態、製品に要求される仕上の型、寸法の精度、切削の方法等に依り變化するものであるから、之等の變化に應じ切削速度にも適當に選ぶべきである。

Ledloy (圖中含鉛鋼) の利用の最も重要な分野は極めて莫大なる數量の要求のある兵器製造に於て、切削時間を節減せしめる事である。先づ豫備的試験として、約 5t の Ledloy で四十耗鈍彈丸製造を行つたのであるが、その成績は次の如くである。

材料	切削速度	送り	切削所要時間
含鉛鋼	330 rev/min	0.0065 in	2mn
鉛を含まざる鋼	210 rev/min	0.0065 in	2mn 50s

此の他各工具の壽命は約 30% 増加した。普通には此の彈丸製造の際、錐は毎日研直しをするのであるが Ledloy 使用の場合には唯形直しをするだけで良いの對し、普通鋼に於ては錐が焼けるので使用の度毎に尖端を若干宛研研す事が必要であつた。工具を取付けたり研磨する時間を考慮に入れると普通鋼を使用せる場合には 1h

に製造工程の18.5%が出来るだけであるのに對しLedloyは25%に達し、約30%以上の改善を見たことになる。又或る工場では同じ切削速度で削つても表面仕上はLedloyの方が遙に良好であつた。そこで機械を最大速度で回轉させて試験を行つた結果、心配されたやうな工具の損傷も少なく、切削所要時間は2mn 35sから1mn 44s迄短縮され而も仕上表面は更に美しく彈體自身の温度上昇も少ない事が確かめられた。

之等の豫備試験の結果に基き次には約50tの材料を使用し四十耗銃彈丸の多量生産試験を行つて見た。長期にわたりあらゆる方面からデータが集められた結果、切削所要時間は2mn 26sから1mn 45sとなり、工具取換研磨時間を含めて1時間當りの製造工程はLedloyが19.5%であるに對し、普通鋼は48.2%となり、100%の生産増加であり、更に工具壽命をも考慮に入れる時は約200%の生産増加になる(工具取換回数1/3になる)。

炭素鋼の他合金鋼に付いても切削性改善のデータは澤山あるが、その中代表的と思はれる次の3種の結果を掲げよう。

試料の成分

試料番號	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Pb
1	0.18	0.64	0.26	0.027	0.014	3.45	—	—	0.01
1a	0.17	0.66	0.28	0.027	0.014	3.29	—	—	0.17
2	0.46	0.92	0.28	0.026	0.012	3.47	—	—	0.02
2a	0.48	0.93	0.30	0.025	0.015	3.45	—	—	0.20
3	0.41	0.74	0.22	0.023	0.013	1.73	0.65	0.33	0.02
3a	0.42	0.75	0.21	0.022	0.012	1.74	0.65	0.36	0.17

a—含鉛鋼試料

機械的性質

試料番號	處	理	抗張力 t/in ²	降伏點 t/in ²	伸%	絞%	ブリネ ル硬度	シャル ビー値 ft. lbs
1	燒	準	38.8	26.0	31.0	63.6	163	44
1a	"	"	39.3	28.0	31.5	61.0	163	39
2	燒	鈍	52.0	31.8	22.5	46.4	217	14
2a	"	"	52.6	33.2	23.0	47.5	217	14
2	熱	處理	56.5	38.1	20.6	42.5	226	24.5
2a	油	燒、燒戻	55.2	41.5	20.0	45.5	223	23.5
3	燒	鈍	61.0	—	17.0	47.5	241	13.5
3a	"	"	63.2	—	17.5	46.5	241	14.0
3	熱	處理	67.5	59.2	18.0	56.5	270	37.5
3a	"	"	63.5	53.0	18.0	53.0	255	33.5

機削性データ

試料番號	燒準又は燒鈍			油燒入、燒戻			
	鋸指	挽指數	穿孔指數	平均改善率	鋸指	挽指數	穿孔指數
1	0.894	1.03	—	—	—	—	—
1a	0.626	0.679	47%	—	—	—	—
2	0.24	1.18	—	1.09	1.355	—	—
2a	0.600	0.811	42%	0.776	1.125	23%	—
3	0.815	1.261	—	0.948	1.29	—	—
3a	0.665	0.855	37%	0.633	1.22	21%	—

Ledloyと普通鋼の耐蝕性比較試験も試みられたが、大差は無いやうである。

此の論文のデータは何れも多量生産工場で得られたものを使用したのであり、従つてLedloyは最早、單に冶金學的に興味ある許りでなく、廣く技術者の關心的になつて居り、戦時の兵器生産に多大の役割を果してゐるのである。(安田)

鼠鑄鐵中のパーライトの分解

(Timmins, A. A.: Found. Trade J., Aug. 15 & 22, 1940) 鼠

鑄鐵は高温度に加熱されるときその構造に變化が起るもので、これは化合炭素の分解に依るものであることは可成り以前より知られて居た。鑄鐵の熱處理の出現と共にパーライト分解の機構の正確な知識が要求せられるやうになり、多くの開拓的業績はSchwartz及びその共同者に依る可鍛鑄鐵中の遊離セメントタイトの解消の研究で導かれたもので、彼及びWhite, Schneidewind等は可鍛性は軟化炭素の沈澱に對して中心として作用する核が鐵中に形成されることに依ると云ふ暗示を提示した。なほこの核が形成される場合にはオーステナイト中に溶解せる炭素がその核に向つて移動して遊離炭素としてそこに沈澱する。そしてこの移動はその加熱温度に對する平衡炭素量に達する迄続くものである。石原氏は又鐵中の炭素の擴散速度は温度の對數函數にして黒鉛化速度と温度間の關係のものと相似の曲線となることを示して居る。菊田氏は白鉄中のセメントタイトの分解速度はSi及びCの増加と共に増大するものなることを述べて居る。かく可鍛鑄鐵に關する限り可鍛性は次のものに依る。即ち(1)オーステナイト中のCの移動性 (2)核を形成する傾向であつてかくして細粒の白鉄鐵は同成分の粗粒のものより一層可鍛され易いことは知られる。菊田氏及びその後White, Schneidewindは變態點以下の温度に加熱することに依るパーライトの除去(可鍛鑄鐵の第2段の黒鉛化)は又同じ理由で説明されることを示しCはα鐵中に不安定溶解となつてから黒鉛核に移動しそこで沈澱すると暗示して居る。鼠鑄に關しては核は形成されなからしく之等は既に存在する黒鉛片の多量に依つて供給されるからである。新しき大量生産法の出現と共に要求せられる高速機械加工を得るために燒鈍せねばならない。しかし採らるべき正確な方法は餘り理解されて居ない。燒鈍は至除去の見地より又重要である。

實驗は鼠鑄鐵中のパーライトの分解を支配する條件を決定せんとする目的で行はれ試料はSi量以外は同じ成分の2つの鑄鐵を1.2in丸棒として求めた。選んだ温度は700°Cと900°Cで燒鈍を支配する條件は使用鐵の變態點の上下の温度で調べることが出来た。爐が所要温度になつたときに試料を入れ0.5h又は2.5h加熱しその後爐より出し空冷した。他の試料は同じ温度で同じ時間加熱したが大々3°C/mn及び1°C/mnで冷却した。かくして熱處理の影響、加熱保持時間の影響、化合炭素の分解、顯微鏡組織、オーステナイト中のCの溶解度等に就て研究の結果次の如く結論して居る。

パーライトの分解を起す鼠鑄鐵の燒鈍は容易に變態點以下の温度にて完結され得てこの場合加熱後の冷却速度は殆ど重要でない。燒鈍は變態點(Ac₁)以上の温度にて行ひ得られるも一定温度に加熱する場合初めの化合炭素量が使用鑄鐵の温度と成分に對する平衡に依つて示される以上でない限りはパーライトは分解されない。高温燒鈍に依るパーライト除去に於ける主要要素は燒鈍後の冷却速度であつて冷却速度が小なれば小なる程パーライト除去量は大きくなる。一定温度に於ての鑄鐵中のパーライトの除去は擴散現象であると云ふことを示す確證は與へられて居る。變態點以下での黒鉛化の速度は温度の上昇と共に高められる。そして鼠鑄鐵中のパーライトを除去する最も良き方法は出来る限りAc₁に近い温度で加熱することである。Siは黒鉛化速度には一定温度で影響しないやうである。しかし高珪素鑄鐵の容易なことは鑄造化合炭素量は低珪素鑄鐵よりも一般に低いと云ふ事實に依つて説明され得る。Siの増加に依り變態點は上昇しCの溶解度は減少する。このことはある與へられたる温度に對して低珪素鑄鐵の場合よりも多くのパーライトが除去され得ることを意味する。パーライトの分解は加熱温度が上昇するにつれ速く

なるから特に初期化合炭素量の高きものに對して最善の方法は變態點より幾分上の温度で焼鈍を始め變態點附近の焼鈍の最終温度に迄ある豫め決められた速度で冷却することである。この處理後製品は歪や龜裂の起ると云ふやうな他の要素をも考へ併せて出来るだけ速に冷却させる。3つの珪素量の異つたものに對して900°C以上の温度で鐵中のCの溶解度に対する數字が與へられて居る。得られたる結果は鼠鑄鐵の工業的焼鈍に大なる意義を有する。最も重要な事柄は軟化が最も容易にそしてその鑄鐵の變態點附近の温度で焼鈍することに依つて一層完全に得られることである。若し一層高い温度が適用されるならば非常に徐冷することがすべてのパーライトを除去し最大の軟化を得るために必要である。大抵の場合に於て易削鑄鐵をつくるために鑄鐵を軟化することは出鱈目に一般には變態點以上の温度で行はれて居る。不必要な費用及び時間が之等の温度での長い均熱期間に拂はれて居り、往々にしてその後の冷却速度が餘りに速かすぎて要する軟化を完成することが出来ない。鑄鐵の變態點附近の均熱温度を用ひると焼鈍作業を一層經濟的ならしめ徐冷期間の必要は除かれる。(尾崎)

9. 化學分析

鐵鋼中に於ける微量金屬アルミニウム及びアルミナの分光分析

(O. Schlieszmann, Arch. f. d. Eisenh. 14 (1940/41) 211~206)
Alで脱酸した鐵鋼中の微量Al(0.001~0.1%)を、殊に金屬Alとアルミナとを別々に定量したい場合がある。これに關しては多くの文献があり、試料を稀鹽酸に溶解するときは金屬Alのみが溶解せられ、アルミナは極度に細かく分散したのも分離し得ることが知られてゐる(Alの窒化物又は炭化物が存在しない場合)。但その兩者を化學分析に依つて定量するには甚だ長時間を要するので分光法に依つて短時間内に定量する方法を研究した。

分離法 試料切削片10gに鹽酸(1:6)約200ccを加へて加熱し一定濃度に於て分解する。不溶殘渣は二重濾紙で濾別し稀鹽酸で洗滌する。洗液は濾液に合せ弱アンモニヤ性とし煮沸する。生じた水酸化物沈澱は磁製吸引漏斗で濾別し鹽化アンモンを含む水で洗滌する。これを稀鹽酸に溶解し容量を100ccとして金屬Alの定量に供する。又上述の不溶殘渣は濾紙と共に白金ルツボ中で灰化し純苛性ソーダ(0.5g)で熔融し、稀鹽酸に溶解して50ccとする。この溶液の半分は上述の如く鹽化アンモンで一度沈澱せしめ、稀鹽酸に溶解し、前の金屬Al定量用液の50ccと合せ50ccに濃縮する。これを全Alの定量に用ひる。

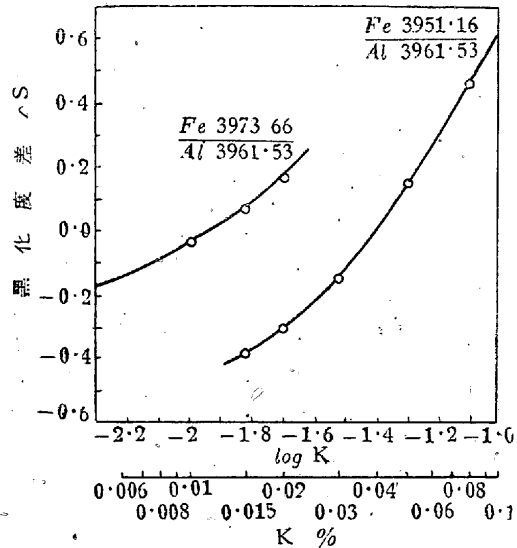
極めて微量のアルミナ(<0.005%)の場合には次の如くする: 切削片10gを上述の如く溶解、不溶殘渣を0.1~0.2gの純苛性ソーダで熔融、水に溶解して濾過する。濾液は鹽酸で弱酸性としアンモニヤで沈澱せしめ、沈澱にFe1gの濃厚溶液を加へて全容を10ccとする。かくしてアルミナの濃度を10倍に高めて使用する。

撮影條件 電氣的發光條件は $V_1=220V$, $V_2=15,000V$, $C=17,000cm$, $L=4 \times 10^5cm$, $I_1=4d$. Rutherford 硝子分光器を用ひ、集光レンズ($f=12cm$)で火花の像をそのコリメーターレンズ($f=60cm$)の上に結ばせる。スリットの幅は0.04mm, 階段フィルター(100:75)を用ひ、又乾板はAgfaのコントラストを用ひた。電極は徑5mmの純炭素棒で下方電極は端面を平にし、上方電極は鋳形として稜を光學軸に平行ならしめ、兩極間の距離は3mmとした。最初1mm放電を行つてから溶液0.1ccを下方電極に置いて完全に吸着せしめ(30~60s), 30sの豫備放電後90s露光した。電極を新しく

取換へて同様の事を3回行ふ。

線の選定 Alの最も感度の高い3961.53は著者の用ひた分光器ではスリット7 μ のときFe3961.15と分れるが、定量に最適の40 μ に於ては重なり合ふ。然し $f=60cm$ の水晶分光器に比すればFe3960.29及びFe3963.10とは重ならない利點がある。尙Moが0.2%以上存在すればその3961.49に依つて妨害されるが、既述の處理方法に依ればMoは除去されるから問題はない。

上記のAl線と強度を比較すべきFe線として0.01~0.08%Al範圍に對して2本を選んだ。即ちこのAl量中低Alに對しては



第1圖 微量アルミニウム定量用檢量曲線

十分な自己誘導の下にFe3973.66(選定點は0.012%Al), 高Alに對しては75%フィルターを用ひてFe3951.16(選定點は0.04%Al)を採用した。これらの線對の安定性は自己誘導を $1 \times 10^6 \sim 7 \times 10^6 cm$ 範圍内で變へて調査した處

満足し得べき結果を示した。

評價 この方法の再現性を調べるため0.03%Al液を用ひ30筒のスペクトラムを撮影吟味した。その結果平均誤差は $\pm 5.2\%$ で最大偏差の絶対値は0.001%Alであつた。次に0.01, 0.015, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06%Alの溶液を作つて各27筒のスペクトラムを撮影し、Fe3951.16/Al3961.53及びFe3973.61/Al3961.53の兩線對に對し平均値を用ひて檢量曲線を作成した。その結果を第1圖に示す。圖に於てIIは0.01%Al以下には用ひられない。Iからわかるやうに曲線の下方部分は地の黒さ及びFe線がAl線に重なるため彎曲してゐる。この兩曲線に依り0.006~0.1%Alを定量する事が出来る。尙0.005~0.01%Alではスリットを7 μ としてFe線と分離すれば、光度測定を行はずとも視察に依つて定量値を求め得る。

結果 試料10gを用ひた場合誤差の分布を調べた處含有量の3~10%範圍にあるものが多い。又56種の試料(0.006~0.085%Al)に就て各10gを秤取して定量した結果平均偏差は $\pm 0.003\%$ Alであつた。重量法に於ける許容誤差は50gを秤取した場合 $\pm 0.003\%$ Alであるから、本法は十分重量分析に代り得る正確度を有する。本方法に於て溶液の作成に約2hの他寫眞の撮影及び評價の時間を要し、尙定量の所要時間は試料の数が一つ増す毎に10mm宛増加する。

固體試料の直接放電による定量との比較 上述の如く溶液法に依つて任意の合金鋼に就て極めて微量の金屬Alとアルミナの定量が可能であり、又組織が不均質の場合にも信頼し得べき結果が得られる。これに對して金屬試料の直接放電による試験を行つたが、アルミナの分布が均でない場合は局部的に甚だしい差異を示し、斯様な場合には局部分析の方法として用ひ得るのみである。尙アルミナの場合は同一原子濃度の金屬Alに比して強度が約20%減少する事も確かめられた。故に直接放電法は全Al量に對してアルミナの強度減少を無視し得る場合にのみしか用ひ得ない。(松原)