

鋼の機械的試験に関する二三の考察 (II)

(日本鐵鋼協會第 28 回講演大會講演 昭 17. 10. 於東京)

河合正吉*・越智通夫*

EINIGE BETRACHTUNGEN UEBER DIE MECHANISCHE PRUEFUNG DES STAHLER (II)

Masayosi Kawai und Mitio Oki

ZUSAMMENFASSUNG: -Im vorigen Bericht machten die Verfasser einige übersichtlichen Betrachtungen über die allgemeine mechanische Prüfung des Stahles und setzten zum Schluss das Ergebnis des unvollendeten Versuchs über den "kritischen Durchmesser" des Probestücks zu, der die enge Beziehung mit dem Problem des Kerbschlagversuchs hat. Diesmal haben die Verfasser den Versuch über den "kritischen Durchmesser" durchforscht und haben einige halbquantitativen Ueberlegungen darüber gestellt. Danach ergibt sich die folgende Ergebnisse:

Die Bruchenergie E des gekerbten Probestücks hat die Beziehung mit dem Probestückdurchmesser

$$E = l^n (E_{v1} + E_{n1} l^{-n}), \quad 0 < n < 1,$$

wobei E_v , E_n , und n die Materialkonstanten sind. Und bei der zähen Bruchfläche nimmt n den Wert von 0 bis 0.5, während bei der spröden E_{n1} , sehr klein ist und n beinahe gleich 1. Diese grundverschiedenen, zweiartigen Bruchflächen können auch für gleichartige Probestücke entstehen, wobei es sich nur um den Probestückdurchmesser handelt. Wenn man die zähe Bruchfläche mit einem Werkstoffprobestück gewinnt, so könne man durch die Steigerung des Probestückdurchmesser den "kritischen Durchmesser" erreichen, durch dessen Überschreitung der Durchflächenzustand vom zähen zum spröden übergehen soll. Dieses Dasein des "kritischen Durchmessers" ist künstlich durch die sekundäre Kerbe geschrieben, die am Grund der primären Kerbe entsteht, und die die scharfe Spitze vom Krümmungsradius ρ_0 hat. Denn der "kritische Durchmesser" l_c hat die Beziehung mit der nominalen Kerbschlagarbeit $\bar{E}_{10} l_c$:

$$l_c = \rho_0 \sqrt{\bar{E}_{10} / \tau_{p0}}$$

wobei τ_{p0} die Anfangsgleitfestigkeit ist.

I. 緒 言

前報告¹⁾の終りに臨界径に関する実験の一部を発表して置いたが、今回これを終了し得たので、衝撃試験に関し再考察を施し、臨界径に関して半定量的な議論を試みる事とする。

II. E_0 に関する補足的事項

報告 (I) に従ひ衝撃の際の吸収勢力 E を

$$E = E_0 + E_n \dots \dots \dots (1)$$

なる 2 部分に分けて考へる。先づこれ等の二つの量に関して前回の考察を更に補足してみる。先づ E_0 に就て P' 点 (報告 (I) 第九圖参照) に於ける破壊の條件は

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= 2\tau_p + \sigma_3 \\ \sigma_1 &= \sigma_T \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

で與へられる。今

$$\tau_p = \tau_p(\epsilon)$$

の特性が略と同一とすれば、一定の ϵ に対して

$$\sigma_3 \propto \tau_p \dots \dots \dots (3)$$

$$\sigma_1 = \alpha \tau_p \dots \dots \dots (4)$$

茲に α は伸び ϵ の函数である。従つて分離破壊の條件は (2) 式より

$$\alpha \tau_p = \sigma_T$$

$$\alpha = \sigma_T / \tau_p = R \dots \dots \dots (5)$$

で表される。換言すれば分離破壊の起らざる條件は

$$\alpha < R \dots \dots \dots (6)$$

となり、 R の大小が分離破壊の難易を決定する事となる。然し R は ϵ の函数であり、 α は ϵ のみならず τ_p 曲線の特性に依るから、(6) なる條件は一見簡單の様に見えるがその内包する意義は極めて複雑であり、従つて又 E_0 の物理的意義は極めて複雑となる。

E_n に就ては別に補足すべき點はないが

$$R_0 = (\sigma_T / \tau_p)_{\epsilon=0} \dots \dots \dots (7)$$

が E_n と關係深き事を重ねて述べて置く。

* 三菱製鋼會社長崎製鋼所

¹⁾ 本誌, 28 (1942), 1195. 報告 (I) と呼ぶ。

III. 相似則に関する実験

報告 (I) V.4. に示した実験を完結して、次の如き結果が得られた。試料 A, B, C の破面試験の結果を第 1 表に示す。即ち試料 C に就ては終に臨界径を得る事は出来なかつたのである。

第 1 表 破面試験結果

試料	脆性破面 mm	靱性破面 mm	推定臨界径 mm
A	≧ 90	≦ 60	75
B	≧ 60	≦ 35	45
C	≧ 10	< 10	—

35mm 以下の試験片より得られた吸収勢力値は第 2 表に掲げる。猶参考の爲に 10mm アイゾット型試験片に就て行つたアイゾット及シャルピー試験の結果を附記して置く。これ等の結果は略々次の実験式で表はされる。

$$E = l^3(E_{v1} + E_{n1}l^{-n}) \dots\dots\dots (8)$$

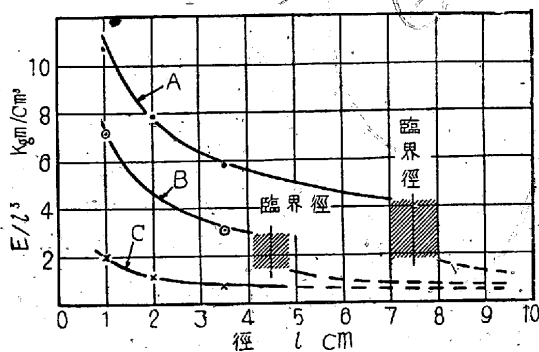
但し E_{v1} , E_{n1} , n は各試料に就て第 3 表の通りである。これ等の結果を總括して第 1 圖に示す。

第 2 表 切欠屈曲試験に於ける試験片の吸収勢力

試料	吸収勢力 kgm/cm ²			衝撃試験	
	35mm	20mm	10mm	アイゾット 試験 kgm	シャルピー 試験 kgm/cm ²
A	5.8	7.9	10.7	11.5	18.8
B	2.1	—	7.2	6.3 ²⁾	11.3 ²⁾
C	0.7	1.1	1.9	3.2	4.3

第 3 表 (12) 式の係數値

試料	E_{v1}	E_{n1}	n
A	0.30	10.45	0.498
B	0.30	6.90	0.700
C	0.35	1.53	1.000



第 1 圖 吸収勢力と径との關係

さて従來經驗的に

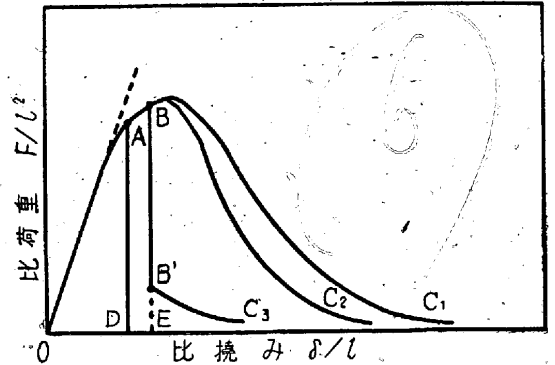
$$E = al^m \quad 2 < m < 3 \dots\dots\dots (9)$$

なる關係が求められてゐるが、 E_{v1} を省略すれば (8) 式と一致する。然し次の如き考察により (8) 式の方が理論的に

2) 何れも綫絲狀破面に粒狀破面を交へた二重破面を示した。

正しい事が分る。

第 2 圖に模型的に撓み對荷重曲線を掲げる。但し便宜上比撓み及び比荷重をそれぞれ横座標及縦座標に取る事とした。今任意の大いさの試験片に荷重を掛け、荷重の増加と



第 2 圖 撓み對荷重曲線 (F: 荷重, delta: 撓み)

共に撓みが増大し、A 點に於て P' 點 (報告 (I) 参照、前掲) の破壊が起るものとする。靱性破面及脆性破面が生ずる場合には、それぞれ $A \rightarrow B \rightarrow C_1$ (或は C_2) 及 $A \rightarrow B \rightarrow B' \rightarrow C_3$ と變化する。次にこの二つの場合に就て別々に議論する事とする。

靱性破面—P' 點が破壊し二次切欠 (報告 (I) 参照) を生じて、切欠底の塑性變形、從つて又側面の塑性變形が可能であり、その變形が或程度進むと再び破壊が起る。今この破壊より破壊變形を素變形と名付ければ、吸収勢力 E_n は此等素變形の和と考へられる。素變形に依る吸収勢力を e_n とすれば

$$E_n = \sum e_n \dots\dots\dots (10)$$

となる。而して素變形は二次切欠底の曲率に依るから、報告 (I) に依り、相似則は成立しないが、靱性大なるもの程切欠底の變形の爲に、相似則に接近するものと考へられる。即ち

$$e_n \propto l^m \dots\dots\dots (11)$$

と置けば、 m は靱性大なる程 3 に近付くのである。依つて

$$E_n = E_{n1}l^m \dots\dots\dots (12)$$

が得られる。これを (1) 式に代入すれば

$$E = E_v + E_n = E_v + E_{n1}l^m \dots\dots\dots (13)$$

更に報告 (I) に依り E_v に関しては相似則が成立するから

$$E_v = E_v l^3 \dots\dots\dots (14)$$

從つて (13) 式は

$$E = l^3 (E_{v1} + E_{n1}l^{-(3-m)})$$

$$=l^3(E_{v1}+E_{m1}l^{-n}) \quad (n=3-m) \quad \dots(15)$$

となり(8)式と一致する。

脆性破面—脆性破面を示すものでも、多くの場合第2圖に於けるA點で直ちに急激な破壊に移らず、多少の素變形を繰返すのが普通である。而してその素變形の繼續する比區間は、試験片の徑の増加と共に減少するのである。即ちB點は徑の大なる程A點に接近するのである。此の場合ABEDに依て圍まれる仕事量は、その一部が側面の耳部の形成に費されるが、その大部分は彈性的潛勢勢力として蓄へられ、破壊の際破斷面の形成に依る表面勢力に轉化するものと考へられる。然る時は

$$E_n = E_m l^2 + \omega \quad \dots(16)$$

が成立し、 ω を省略すれば(1)式より

$$\begin{aligned} E &= E_v + E_n \\ &= E_{v1}l^3 + E_{m1}l^2 \\ &= l^3(E_{v1} + E_{m1}l^{-1}) \quad \dots(17) \end{aligned}$$

が導かれる。

さて上述の理論は靱性域及脆性域のみに就て成立するに過ぎない。然るに靱性破面が或る材質の試験片に現れても、試験片の大いさを大にして臨界徑に達すれば、脆性破面を生ずる事第1表の通りである。上述の理論はこの轉移域の記述には全く無力である。依つて次に臨界徑の存在に關する議論を進める事としよう。

IV. 臨界徑の存在

今二次切欠の曲率半徑を物體の大いさに依らないとして ρ_0 とする。勿論 ρ_0 は材質に依るものと考へられるが、これに關しては觸れない事とする。

更に次の如き假定を置く。即ち切欠底の曲率半徑を ρ とすれば

$$\rho/l > C \quad \dots(18)$$

なる時は切欠底に塑性變形が起り

$$\rho/l < C \quad \dots(19)$$

なる時は塑性變形を伴はざる破壊が生ずるものとする。此の假定は切欠部の應力分布情況³⁾を見れば先づ合理的と考へられる。

依つて二次切欠を生ずれば

$$\rho_0/l \geq C \quad \dots(20)$$

に從つて、その後の破壊の進行情況が決定される。即ち

³⁾ 本誌, 29(1), 1948. に發表の豫定の著者等の論文を参照, これを報告(II)と呼ぶ事とする。

$$l_c = \rho_0/C \quad \dots(21)$$

と置けば

$$l > l_c \quad \dots(22)$$

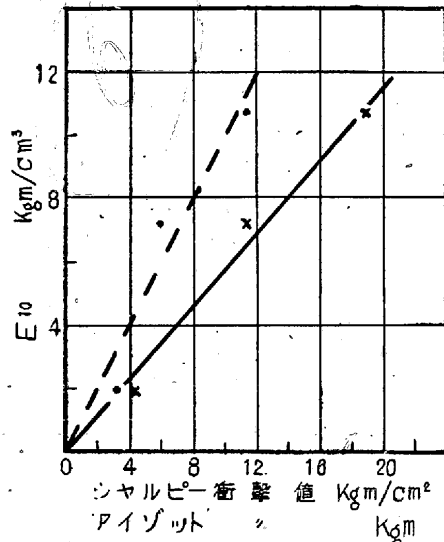
なる時は脆性破面(粒狀破面)を生じ

$$l < l_c \quad \dots(23)$$

に於て靱性破面(絹絲狀破面)が現れる。この意味に於て l_c は前述の臨界徑に相當する事が了解される。

V. 衝擊値と臨界徑

衝擊試験は普通10×10×55mmの試験片に依つて行はれるが、徑10mmの切欠試験片の屈曲の際の吸收勢力を E_{10} として、同一試験片のシャルピー及びアイゾット試験値との關係を第2表に從つてプロットすれば、第3圖の如き略々直線的關係が得られる。依つて衝擊値と臨界徑との關



第3圖 各吸收勢力値の間の關係

係を論ずる代りに E_{10} と臨界徑との間に如何なる關係が存在するか、と云ふ問題を考察すればよい。先づ10mm徑試験片の破面が絹絲狀なるか、粒狀なるかに從つてそれぞれ E_{10}^a, E_{10}^b と記す事とする。これに對應する衝擊試験値をそれぞれ $\bar{E}_{10}^a, \bar{E}_{10}^b$ と記す。さて此處で小試験片が粒狀破面を呈する場合には、それ以上の徑に對して臨界徑は意味がないから E_{10}^b のみが問題となる。即ち l_c は E_{10}^b と如何なる關係を有するか、と云ふ事が問題の核心である。

現在の處、これに關しては定量的な議論を行ふに十分なる程度のデータを持合せないから、極めて抽象的な推論を述べるに留める。(1)式でcmを單位に取れば

$$E_{10}^b = E_{v1} + E_{m1} \quad \dots(1)'$$

一般に靱性破面を生ずる場合には、 E_{v1} は E_{m1} に比し小で

あるから、 E_{10}^t は E_{n1} の値に依つて支配される。従つて E_{v1} とじては極く概略値が分ればよい。依つて II の考察より。

$$E_{v1} = E_{v1}(R, \tau_p) \dots\dots\dots (24)$$

が得られるが、因数 R, τ_p の代りに R_0, τ_{p0} を代入しても大なる誤差を生じないであらう。

$$E_{v1} \approx E_{v1}(R_0, \tau_{p0}) \dots\dots\dots (24)'$$

又 E_{n1} は、報告 (I) に依り、比較的變形度小なる場合の R, τ_p に關係するから、略よ

$$E_{n1} = E_{n1}(R_0, \tau_{p0}) \dots\dots\dots (25)$$

が成立するものと考へられる。依つて (1) より

$$E_{10}^t = E_{10}^t(R_0, \tau_{p0}) \dots\dots\dots (26)$$

他方 l_c は (21) 式に依り定義され。

$$l_c = \rho_0 / C$$

又 C は明かに R_0 のみの函数と認められるから

$$l_c = \rho_0 f(R_0) \dots\dots\dots (27)$$

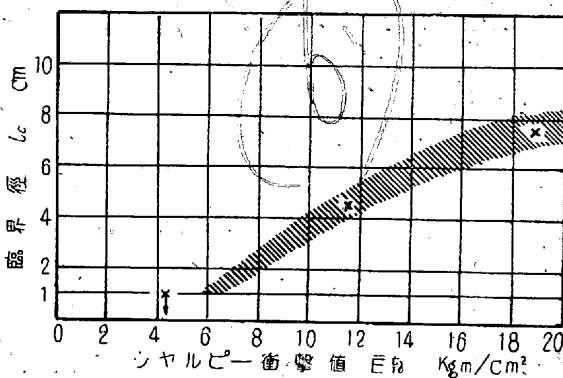
依つて (26) 式より

$$l_c = \rho_0 g(E_{10}^t; \tau_{p0}) \dots\dots\dots (28)$$

又 E_{10}^t の代りに衝撃試験値を用ひれば

$$l_c = \rho_0 g(\bar{E}_{10}^t; \tau_{p0}) \dots\dots\dots (28)'$$

従つて l_c は \bar{E}_{10}^t に依り一義的には定まらないが、 ρ_0, τ_{p0} を任意とすれば、 l_c は、第 4 圖の如く、 \bar{E}_{10}^t に對して或幅を持つた曲線で表される。但し圖に於て横軸の \bar{E}_{10}^t とし



第 4 圖 臨界径と衝撃値との關係

× 實驗より求めた推定臨界径

ては、アイゾット試験片に對するシャルピー試験値を選んだ。

VI. 脆性と抗力曲線

以上の理論の應用として、顯著な脆化現象に就て二三の考察を試みる事とする。上述の如く、脆性は R_0 の小なる事と一致する。即ち

$$R_0 = \sigma_{T0} / \tau_{p0}$$

に於て σ_{T0} を小ならしめるか、或は τ_{p0} を大ならしむれば同一の材質に於ても、又他の試験には現れない様な材質的變化を生じた場合に於ても、顯著な破壊特性を生ぜしめる事が可能である。その例として

- i) 低温脆性
- ii) 焼戻脆性
- iii) 高速衝撃脆性

等を擧げる事が出来る。以下これ等の例に就て少しく詳述する事とする。

低温脆性——これに關しては、既に報告 (II) で觸れて置いたが、常温にて絹絲狀破面を生ずるものが、低温にて粒狀破面を生ずる事は良く知られた事實である。この理由は以下に述べる如く、低温に於ては σ_T は殆んど變化しないが、 τ_p が特て變形度小なる附近に於て、その増大する傾向の大なる事に依るものである。その證左を次の如き實驗に依つて與へる事とする。

第 4 表の如き試料を選び、焼入焼戻後、 0°C 及 -70°C 抗張試験及衝擊試験を行つた。その結果を第 5 表に示す。

第 4 表 低温脆性試験試料の化學成分

成分 試料	C	P	S	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
A ₁	0.27	0.024	0.018	0.57	0.22	0.36	1.09	0.13
B ₁	0.29	0.021	0.015	0.49	0.28	—	1.24	0.28
C ₁	0.12	0.025	0.026	0.50	0.20	0.32	0.68	—

猶第 5 表に於て各測定値の下に比として記して置いたのは

$$(-70^\circ\text{C の測定値}) / (0^\circ\text{C の測定値}) \cdot 100$$

を表すものとする。

第 5 表 低温脆性試験結果

試料	試験温度 $^\circ\text{C}$	機械的試験						熱處理 $^\circ\text{C}$	
		抗張力 kg/mm^2	降伏點 kg/mm^2	伸 絞 %	破斷抗張力 kg/mm^2	衝擊値 kgm/cm^2	燒入	燒戻	
A ₁	0	108.1	93.9	24.0	60.5	179.1	12.3	8500.Q. 6000.C.	
	-70	111.5	98.7	26.0	60.5	184.2	6.3		
	比	103	105	104	100	103	51		
B ₁	0	106.0	94.6	30.0	58.7	176.0	9.6	9000.Q. 6000.C.	
	-70	113.3	102.4	30.5	58.7	187.2	5.0		
	比	107	108	102	100	106	52		
C ₁	0	61.0	48.0	32.0	71.8	135.0	20.0	8800.Q. 6500.C.	
	-70	66.4	54.8	32.5	69.8	141.0	9.5		
	比	109	114	102	97	104	48		

第 5 表より、抗力曲線に於て主として變形度大なる部分の各抗力と關係の深い伸、絞、破斷抗張力及中位の變形度に對應する抗張力等の變化は、 τ_{p0} に關聯する降伏點の變化に比して小であり、これが衝撃値に著しい變化を生ずる事と密接な關係を有するものと考へられる。

焼戻脆性—焼戻脆性と抗力曲線との関係は既に報告(II)に述べたが、この場合には低温脆性と對蹠的に、 σ_T の減少に脆性の原因を求める事が可能である。

高速衝撃脆性—鋼の變速形度を大にすれば、脆性の現れる事は周知の事實である。現に前述の著者等の實驗に於ても、B試料の10×10×55mm試験片が靜的屈曲の場合には靱性破面を生じなるにも拘らず、衝撃試験の際は脆性破面を生じたのである。この現象も、亦著者等の理論に依

り、矛盾無く記述される。即ち τ_D は變形速度の函数であり、速度の上昇と共に増大する。従つて

$$R_0 = \sigma_{T0} / \tau_{D0}$$

の減少を結果し、脆性破面を呈するに到るのである。

以上の三つの例に就て抗力曲線の正常状態からの變化を模型的に示す爲に、第5圖を與へる。圖中 σ_T, τ_D は正常状態の抗力、 σ_T', τ_D' は脆性状態の抗力を表すものとする

VII. 總 括

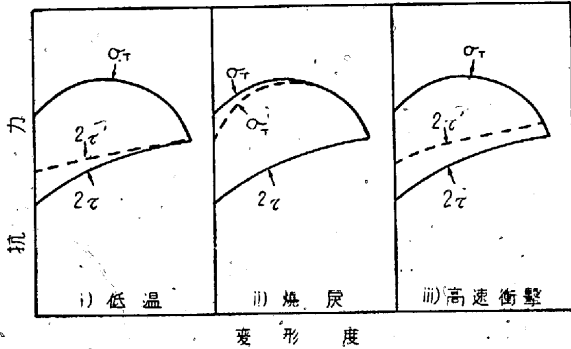
報告(I)で相似則に關する實驗の一部を報告したが、これを完成し、試験片の徑 l と衝撃吸收勢力との間に次の如き關係を得た。

$$E = l^3 (E_{v1} + E_{m1} l^{-n})$$

次に臨界る l_c と普通の衝撃値 \bar{E}_{10}^b との間には

$$l_c = \rho_0 g (\bar{E}_{10}^b, \tau_{D0})$$

の如き關係があり、一義的ではないが l_c は \bar{E}_{10}^b に對して單調に増大する。



第5圖 各種脆性と抗力曲線

含ニッケルクロム鐵鑛の處理に關する研究 (IV)

ニッケルコバルト分離の研究

向山 幹夫*

ON THE SEPARATION OF NICKEL AND COBALT (IV)

Mikiwo Mukaiyama, Kōgakuhakushi

SYNOPSIS:—A new idea for the separation of nickel and cobalt was suggested and its theoretical and experimental considerations were treated. It was noted that the formation of alkali-cobaltate in the alkali solute accompanies the separation in a complete form.

目 次

- I. 緒 言
- II. 基礎實驗と其考察
- III. 工業化試験
- IV. 結 論

I. 緒 言

含ニッケルクロム鐵鑛より、其の含有する諸金屬の分離抽出に關して既に報告せり。即ちクロム分離、ニッケルコバルト等の浸出より、其の浸出液の淨化精製に及びたり。此處にはニッケルとコバルトとの分離に就きてなしたる研究の大要を報告せんとす。

ニッケル、バルトが特殊鋼の組成分として最も需要多く且重要なる働きをなす事は普く知られたる所なり。其金屬としての諸性質が、兩者頗る相似たる點多きを以つて、時に一つを以つて他に代用する事あり。又時には著しく相違する特性を示す事ありて、特殊鋼に添加するに當り、十分に吟味して、其の特徴を發揮せしむるを要す。たゞ少量なる場合は兩者共存するも、殆んど其の効用に變化を生ぜざるものと取扱ひ、此種含ニッケル、コバルト鑛石より、直接鋼原料を製造する場合の如き、強いて兩者を分離せざるなり。

一般にニッケル又はコバルト鑛石の、孰れか一方を主とすれば、必ず他の少量を伴隨するが如し。例へば珪ニッケル鑛ペントラングイト、硫砒鑛石の如し。而してこれ等の

* 大東亞省囑託