

## (ハ) アイゾット衝撃試験

上記と同様の熱処理を施したものについて、常温におけるアイゾット衝撃試験の結果、一般に焼入温度900°C 焼戻温度 500°C のものが最大の衝撃値を示し、同温度焼入後 350°C 焼戻のものが最低値を示す。

## (ニ) アプトンルイス式疲労試験

上記と同様の熱処理を施したものについてアプトンルイス式疲労試験機によつて、常温における繰返屈曲回数を測定した結果は上記 (ハ) 項の衝撃値とほぼ同様の傾向を示し 900°C 焼入後 500°C 焼戻のものが繰返回数が最大である。

## (ホ) 高温における衝撃硬度試験

850°C および 900°C 油焼入後各 350°C, 500°C および 550°C 焼戻のものの 300°C~700°C の高温における硬度 (保持時間 10mn) は、一般に 900°C 焼入の方がやや高く、また焼戻温度の低い方が硬度大で、何れも試験温度の上昇と共に硬度を低下し、700°C においては殆んど差がなくなる。

また試験温度 500°C に 10mn 乃至 240mn 保持の場合、一般に 900°C 焼入の方が、850°C 焼入の場合より硬度やや高く、また焼戻温度の低い方が硬度やや大で、保持時間が長くなると幾分硬度を低下する。

## (B) ダイス鋼第 5 種の場合

## (イ) 熱膨脹試験

本多式熱膨脹計により変態点等を測定したがその変態点は次の Table 3 の通りである。

Table 3. Transformation points of dies  
Steel No. 5

	Ac	Ar
Dies steel No. 5	820°~880°C	720°~805°C

## (ロ) 常温および高温における振り試験

600 cm kg 手動振り試験機を使用し、試験温度として常温 300°C, 500°C および 600°C とし、保持時間各 10mn 間で、振り試験を施行した結果ダイス鋼第 5 種を 1,100°C より 450°C 乃至 600°C に austemper 処理したものが 350°C austemper 処理のものより、常温における最大振り応力大で、600°C austemper 処理のものは 500°C~600°C の高温における最大振り応力がやや大である。

## III. 結 言

本試験の結果を前回試験の結果と比較しこれを要約す

れば概ね次の如くである。

(1) Si-Mn 鋼を 900°C 焼入後 350°C 焼戻したものの常温硬度は最大を示すが、500°C および 550°C 焼戻のものはダイス鋼を 1,100°C より 450°C および 600°C でオーステンパーしたものより硬度やや小である。

(2) Si-Mn 鋼の衝撃値はダイス鋼を 600°C オーステンパー処理したものより一般に小である。

(3) Si-Mn 鋼の疲労による繰返屈曲回数は、ダイス鋼を 600°C オーステンパー処理のものより小である。

(4) ダイス鋼第 5 種の常温および 600°C 迄の高温の振り試験の結果 1,100°C より 600°C に 1h オーステンパー処理したものは他の処理のものより概して最大振り応力が大である。

(5) Si-Mn 鋼はダイス鋼より、試験温度 300°C 以下の高温硬度が一般に大であるが、更に高温の 500°C 乃至 700°C における高温硬度は小である。

## (17) 製管用工具の研究

## Study on the Tool for Steel-Tube Making

Eiji Miyoshi

住友金属工業株式会社鋼管製造所

理 三 好 栄 次

## I. 緒 言

製管用工具の如く複雑な現象の下で使用される工具の材質的研究は多くの場合実地試験を基礎として考察されている。然るに実地試験の結果はまた変動が多く、判定の困難な場合が多い。スティフェルマンネスマン製管機のピアサープラグもまたこの例に洩れない。そこで多少とも解析的な考察を進めるためプラグ内における温度の分布を観察した。即ちプラグの材料は自硬性を有するので、焼鈍して軟化した後、1回穿孔に使用し、その後のプラグ内の硬度或いはマクロ組織によつて焼入状態を観察する。しかして熱伝導論的考察に基いて表面の温度を推定するものである。勿論かかる現場の試験においては要因が多く、未知の事実が多いので、大胆な仮定を前提とすることはいうまでもない。しかし反面これ等の試験の結果において温度の絶対値に対して疑問が残つても諸種の条件例えば製管材料の長さ、プラグの表面状態等の影響等に関する相対的な関係は判明する理である。

## II. 熱伝導論に基くプラグ内の温度分布の計算

プラグの原形は先端が切断された円錐状であつて、この形状について計算するのが最もよいが簡単のため円錐として計算した。先端は半球として計算すべきであるが複雑となるので単なる球で計算し参考とする程度に止めた。この計算は周囲からプラグ内への熱の伝導のみを観察し、軸方向の熱伝導を省略する事を意味する。

次に境界条件に関する仮定について考察する。プラグの温度上昇は材料からの熱伝達（輻射および接触による伝達）と表面の摩擦による加熱とがある。この場合熱伝達係数も、プラグの表面に加わる垂直圧力も不明である。従つて簡単のため表面は穿孔開始後直ちに定常状態になり且常に一定の温度になるものと仮定した。計算式は熱伝導論より導かれたもので円錐に対し次の式を用いる。

$$\frac{\theta}{\theta_0} = 1 - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(\alpha_n \cdot a \times r/a) e^{-\kappa \alpha_n^2 t}}{J_1(\alpha_n a) \alpha_n a}$$

但し  $n=1, 2, 3, \dots$  なる正の整数,  $J_0, J_1$  は夫々 0 次, 1 次の Bessel 函数,  $\alpha_n$  は  $J_0(\alpha_n a) = 0$  の根で小さいものよりの順に  $n=1, 2, 3, \dots$  とする。  $\theta_0$  は表面温度,  $a$  は半径,  $\kappa$  は熱伝導率,  $t$  は時間(秒)を示し,  $\theta$  は半径  $r$  の位置の温度である。

これ等に夫々数値を入れて計算した結果の 1 例を Fig. 1, Fig. 2 に示す。即ち熱伝導率の影響或いは各位置における時間的推移を示したものである。

また次の実験により焼入深さの位置が判ればこの位置の温度  $\theta$  は焼入可能最低温度として一定に定めた場合,  $r/a, t, \kappa$  は既知であるから  $\theta/\theta_0$  が求められ、従つて  $\theta_0$  が計算される。

### III. 実験結果

試験条件：製管材料外径 90 mm, 長さ 1200, 1450, 1700, 1950, 2200 mm の 5 種類, プラグの外径 100 mm 穿孔材料温度 1180~1250°C

試験結果：Table 1 に示す如き十分軟化したプラグを 1 回穿孔後成可急冷し、プラグの先端より約 40 mm, 外径にして 50 mm の所より切断し、断面マクロ組織を調べた。この結果より焼入深さを求め、硬度の測定により確認した。硬度或いはマクロ組織による焼入深さは加熱された温度のみによつて定まり、加熱時間、上昇速度、冷却速度によらないという前提によりこの部分の温度は 800°C に上昇したものと考える。800°C なる温度はこの鋼種について別に実験により焼入始め温度と考えたからである。この仮定は自硬性の大きい材料についてはほぼ正しいものとする。これ等の結果を一括して

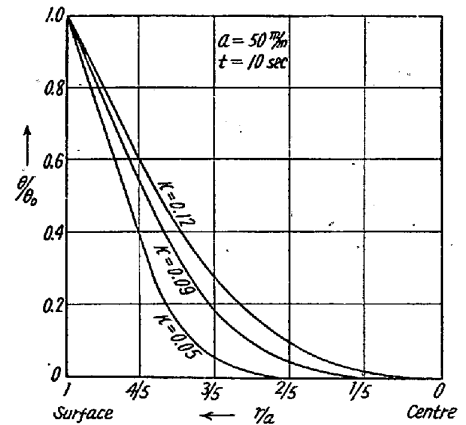


Fig. 1. Example of calculated results. Effect of thermal conductivity

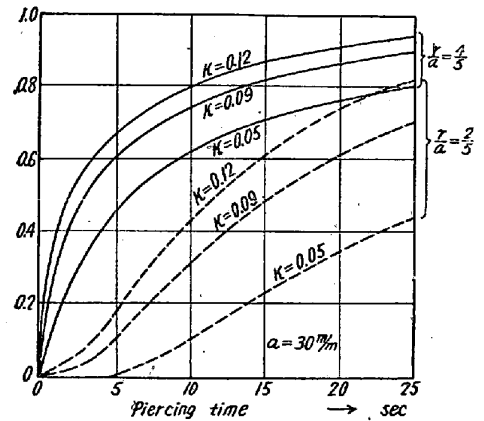


Fig. 2. Example of calculated results. Process of temperature change in the plug

Table 1 に示す。推定された表面温度もまた Table 1 に示した。この結果を要約すると

1. 変動はあるが全体としてこの方法による表面温度は 870°C~1030°C の範囲に収まる。
2. 製管材料の長さに対しては比較的差が少く、従つて穿孔開始後早く温度が上昇し、以後著しい温度上昇がないと考える。
3. 既使用で所謂頭ができ、表面に光沢のある酸化物が附着した場合が最も温度が低く、大体 920°C 以下である。
4. 熱処理温度および表面の平滑な金型に铸込んだものの影響としては著しい影響は認められないが表面の平滑な方がやや低くなつている。

### IV. 結果に対する考察

プラグの側面についての観察は必ずしもその寿命と直接的に関連するものではなく、むしろ頭部における温度の状態が観察したいのである。従つて頭部を縦断して

Table 1. Conditions and results of the test.

Series of plug	Heat-treatment	Length of pierced material (mm)	Temperature pierced (°C)	Time for piercing (sec)	Diameter of section (mm)	Dia. of non-hardened part (mm)	Dia. of non-hardened part dia. of section	800°C	Surface temperature of plugs. (°C)	Surface temperature of plugs. (°C)
								Surface temperature of plugs. (°C)		
As cast in to sand-molds	900°C × 4h F. C.	1200	1240	11	50.6	44.7	0.884	0.908	904	
	"	"	1245	10	53.3	45.2	0.847	0.827	993	
	"	"	1230	11	50.4	46.9	0.930	0.945	869	
	"	1450	1250	13	56.0	49.4	0.884	0.876	937	
	"	"	1245	13	52.3	44.3	0.847	0.852	964	
	"	"	1250	16	50.9	46.3	0.910	0.956	859	
	"	1700	1240	13	51.3	40.7	0.792	0.812	1022	
	"	"	1250	13	54.4	46.0	0.846	0.843	974	
	"	"	1240	16	50.0	39.2	0.783	0.879	934	
	"	1950	1220	17	52.0	40.9	0.787	0.863	951	
	"	"	1200	19	52.7	38.1	0.723	0.796	1031	
	"	"	1230	19	48.7	36.0	0.737	0.874	939	
	"	2200	1215	17	55.0	39.0	0.710	0.800	1026	
	"	"	1230	19	46.8	35.2	0.753	0.843	974	
	"	"	1225	18	52.3	41.9	0.801	0.863	951	
As used a few times	900°C × 4h F. C.	1700	1240	14	53.7	46.4	0.865	0.857	958	
	"	"	1235	14	49.4	45.9	0.930	0.936	877	
	"	"	1240	15	52.0	44.9	0.864	0.898	914	
	"	"	1225	15	55.3	50.0	2.904	0.969	847	
	"	2200	1220	17	52.2	47.2	0.906	0.921	891	
	"	"	1225	19	53.1	45.6	0.860	0.895	917	
	"	"	1180	15	47.1	41.4	0.879	0.921	891	
As heat-treated at other temperatures	800°C	1700	1230	14	47.5	41.7	0.877	0.893	941	
	"	"	1230	13	55.2	47.0	0.853	0.857	958	
	"	"	1235	14	50.0	42.5	0.850	0.860	955	
	700°C	"	1240	14	46.8	42.7	0.923	0.937	876	
	"	"	1220	15	51.6	39.1	0.757	0.816	1006	
	"	"	1240	15	51.2	44.1	0.861	0.898	914	
As cast into metal molds	900°C × 4h F. C.	1700	1240	13	52.9	46.6	0.880	0.936	880	
	"	"	1245	13	51.4	44.6	0.867	0.877	936	
	"	2200	1200	15	47.8	40.5	0.850	0.902	910	
	"	"	1210	16	45.4	39.1	0.863	0.939	874	
The head being forged	900°C × 4h F. C.	1700	1235	15	49.8	43.3	0.884	0.859	927	
	"	"	1230	16	49.3	42.3	0.858	0.922	890	
	"	"	1220	17	50.9	38.9	0.764	0.855	960	
	"	2200	1220	19	51.2	42.6	0.833	0.884	929	
	"	"	1195	21	54.4	40.2	0.740	0.878	935	
	"	"	1210	18	47.3	39.4	0.834	0.903	909	

そのマクロ組織を調べたがこの結果は側面の如く簡単な計算では判断できない事が判る。しかし側面は勿論頭部におけるマクロ組織においても表面が滑かで特に数回使用した表面状態のものは焼入深さが浅くなっていることより、このような状態がプラグとしては望ましい事は理解できよう。

何れにしても材料の表面附近の温度は 1000°C 近くまで上昇している。穿孔中は勿論オーステナイト領域にあり、製管材料に対する僅かの温度差による変形抵抗の強さの差が穿孔に与っているものと考えられる。従つて従

来よりいわれている表面の酸化物或いは滑かさというような表面温度を上昇せしめない条件がプラグとしては重要な要素となるであろう。

## V. 結 語

スティーフェルマンネスマン製管機のピアサープラグの表面温度を或る仮定の下に熱伝導論を利用してプラグの焼入層の深さより推定した。

この結果表面温度は何れの場合も 900°~1000°C 位に上昇し、材料はオーステナイト領域に入る。従つて工具

としての強度は製管材料との温度差による変形抵抗の大小による所が大であろうと考えられるので、この附近の工具表面の温度を下げる工夫が工具としては重要となるであろう。

## (18) 高炭素鋼の Acm 炭化物の微少毛割れについて

(Study on the Micro-cracks of Acm Cementite of the Hyper-Eutectoid Steels)

Toshikazu Uesugi

山陽製鋼工 K.K. 工 上 杉 年 一

### I. 緒 言

共析点以下の低合金鋼の白点の欠陥については既に数多くの研究が行われ、また一方 Acm 変態を有する高炭素鋼にも、白点の出ることは報告されているが、その両者の白点発生現象について相違点のあることは明確な解明が与えられていない。筆者は高炭素鋼の白点の欠陥について研究の結果、下記の如き因子によつて Acm 線より析出する網状炭化物中に  $1/10\mu$  程度の中を有する超微少の毛割れが生ずることを電子顕微鏡によつて発見した。

電子顕微鏡で漸く確認できる、この超微少毛割れを筆者は以下“Acm micro-crack”と呼称する。この現象は主として  $200^{\circ}\text{C}$  以下の過飽和水素に帰因し、従来高炭素鋼に現われる原因不明の白点の欠陥の種々なる特殊現象は、超微少毛割れであるこの“Acm micro crack”が素因となつて生ずるものと結論することによつて、明確に説明される。

よつて、その発見の経過と高炭素鋼の特殊現象について報告する。

### II. 実 験 経 過

1.0% C, 1.5% Cr の高炭素クローム軸受鋼の 600 kg 鋼塊を数本、同一チャージより任意に選定し、粗角 160 mm 鋼片に鍛伸した後（鍛造比=4.0）、鋼塊頭部側に該当する部分より、押湯部を切捨て、長さ約 250 mm の試料を各 1 本づつ、熱間にて切断し、直ちに下記の如き熱処理を行つた。（一例を示す）

- (a) 鍛伸後直ちに砂冷 24h, 約  $400^{\circ}\text{C}$  より常温まで空冷
- (b) “””””””” 10h, 約  $550^{\circ}\text{C}$  “””””

- (c) “””””””” 5hr, 約  $620^{\circ}\text{C}$  “””””
- (d) “”””””””  $400^{\circ}\text{C}$  まで空冷後、砂冷 20h 約  $200^{\circ}\text{C}$  より空冷
- (e) “””””””” 直ちに空冷 (約 4.5h で常温)
- (f) “””””””” (但し鋼塊は長時間軟化焼鈍により脱水素したものを使用)

実験結果の概要は次の如くである。（試料位置、試験方法等は後述する。）

(1) 中心部全面縦断マクロ腐蝕（硝酸法）ではマクロ的毛割れがない。

(2) 中心部縦断ミクロ ( $\times 600$ ;  $\times 100$ , 鏡面ピクリン酸アルコール腐蝕) にも異常性を認められない。

(3) 中心部常温抗張力と水素量の関係は Fig. 1 にその一例を示す如く、水素量の少いものは  $80\text{ kg/mm}^2$  以上の抗張力がでるが、水素量約  $3.0\text{cc}/100\text{g}$  以上になると抗張力が急激に低下する。

(4) Fig. 1 (紙面の都合上省略会場で掲示) における抗張力  $55\text{ kg/mm}^2$  以下のものと、抗張力  $80\text{ kg/mm}^2$  以上のものの破断面を比較すると、明瞭な差はなく、抗張力  $55\text{ kg/mm}^2$  以下のものに特に白点の現象は認められない。

(5) Fig. 1 に見る如く、高温引張試験片の表面には、常温抗張力  $55\text{ kg/mm}^2$  以下のものに cavities を生ずるが、低水素量の抗張力  $80\text{ kg/mm}^2$  以上のものには生じない。

(6) 超音波探傷によれば、高温引張で cavities を生ずる。鋼片試料では  $5\text{m}\sim$  で明らかに欠陥波が出るが、 $2\text{m}\sim$  では欠陥波は出ない。

この実験によつて水素量約  $3.0\text{cc}/100\text{gr}$  以上の鋼片には、マクロ的欠陥は存在しないが、何等かの材質的欠陥のあることは確実である。そこで縦断マクロ試料を塩酸で強腐蝕を行うと、上記 (3), (5), (6), の実験で欠陥のする鋼片試料には、繊維状組織を横断するマクロ毛割れを生じた。この試料の腐蝕面を再研磨後、 $\times 100$ ,  $\times 600$  で検鏡すると、このマクロ毛割れは完全に Acm より析出した網状炭化物に沿っている。

更に上記 (3), (5), (6) の実験で欠陥のする鋼片中心部の試料を、鍛造冷却時の Acm 網状炭化物を消失させないよう  $A_1$  変態点以下の  $700^{\circ}\text{C}$  で引張試験を行い、表面亀裂を発生させ、その亀裂の最深部を  $\times 300$ ,  $\times 600$  で検鏡すると、Fig. 2. に見る如く、亀裂は網状炭化物の局所々に点状をなして発生し始めていることが確認された。

ここで上記 (2) の試験 ( $\times 600$ ) では確認できなかつ