譯文及資料

護謨工業に於ける熱的諸問題

Stuart H. Hahn

J. of Applied Physics, 1941, 12, 12

中 村 正 三 譯

I. 緒 論

あらゆる護謨工業の基礎となる工程は加硫であるが、之は温度によつて非常に影響されるから火の神 Vulcan の名を取つて Vulcanization と呼ばれる。護謨のコンパウンドの熱傳導率は非常に小さいから近代文化の要望する大きな複雑な形のゴム塊を均一に加熱することは困難なことが多い。然し乍ら熱的の問題の細密な研究と、所謂“flat-curing”の方法の發達の結果重量 1 グラム程の玩具のタイヤより大は重量 1 トンに及ぶ巨大な戦車のタイヤに至る迄又、直径 1/100 吋程度のゴム絲より大は直径 1 フート以上の巨大な軌道車のスプリングに至る迄、或は又容量 10,000 ガロンものタンク車のゴム内張に至る迄完全に加硫することが出来る様になつた。加硫迄の工程にも多くの熱的の問題がある。素練、混和、押出し、カレンダーリング、等可塑性ゴムに機械的加工を加へる工程中に多量の熱が発生せられるが多くの場合此の熱は過熱を防ぐために除去せねばならない。十分に加硫せられたゴムが顧客の使用に供せられる迄の間にも又熱の問題がある。ゴムは弾性が完全でないために之を急激に屈曲せしめると熱を発生し此の熱はゴムの熱傳導性が小さいために即座には消失しない。此の様な問題はゴムコンパウンド中のヒステレシスを減少せしめること及内部摩擦を減少せしめる様にゴムの構成單位を選択したり冷却法を改良したりすることに依つて解決せられる。

II. ゴムの熱傳導率及熱擴散率

生ゴムの熱傳導率の平均値は $0.000375 \text{ cal/sec.cm}^2 \cdot ^\circ\text{C/cm}$ であるが生ゴムに添加される物質の多くはゴム自身より大なる熱傳導率を有するが實際のゴムコンパウンドの熱傳導率が生ゴムの熱傳導率の 2 倍の大きさを有することは稀である。此の様にゴムの熱傳導率は非常に小であつて一時蒸氣機關の氣筒の熱絶縁物として使用せられた松材の熱傳導率と同程度の大きさを有するに過ぎない。猶他に比較例を求めるとゴムは多孔性コルク板や岩綿の 3 倍の熱傳導率を有し一般の金屬の 1/200 の熱傳導率を有する。ゴムは熱傳導率が小さいばかりでなくその比熱が比較的大きく、約 0.48 である。そのためその體積熱容量 (Volumetric heat capacity) は金屬と同程度である。従つてその熱擴散率 (Thermal Diffusivity) 即ち熱傳導率と體積熱容量との比は極めて小さい。此の熱擴散率とは物體を通過する熱傳播の割合を表す量である。ゴムコンパウンドの熱擴散率は通常 $0.0008 \sim 0.0014$ である、之に對し柔軟な木材の熱擴散率は約 0.0015 鋼は約 0.13 である。固體中の傳熱の問題は次の Fourier の方程式の解に基くものである。

$$\frac{dQ}{d\theta} = \rho C \frac{dt}{d\theta} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)$$

茲に Q は直角座標中の點 (x, y, z) に於ける熱量の密度を表す。

此の式を、球、圓壩、板等標準な形を有するものに對して圖的に解くには Gurney-Lurie (I. E. C., 1923, 15, 1173. W. H. Mc-Adams, Heat Transmission Mc Graw Hill, 1933) の圖表を使用すれば良い。

此の Gusney-Lurie の圖表は次の四つの無次元メンジョンの比の値より構成せられる。

その 1 は温度差の比 Y であつて

$$Y = (T - t) / (T - t_1)$$

その 2 は相對的時間の比 (Relative time ratio)

$$X = k\theta / \rho CR^2$$

その 3 は相對的抵抗の比

$$m = 1/h/R/k = k/hR$$

その 4 は位置の比 (Position ratio)

$$n = r/R$$

である、茲に θ は冷却又は加熱を開始した時からの時間、 C はその固体の比熱、 ρ はその固体の密度、 T は固体の周囲の一定の均一なる温度、 t は時間 θ なる時の固体中の點 n の温度、 h は表面傳熱係數、 k は熱傳導率、 r は中心面よりの距離、 R は中心面より表面迄の距離である。

表面傳熱係數と熱擴散率とが相互に深い關係を有することは第 1 表に示す通りである、之は厚さ 4 厘の種々の物質の大きい板を、2 つの條件の下に於て加熱するに要する時間を表はす。

第 1 表 種々の物質の厚さ 4cm の板を加熱するに要する時間
時 間 (分)

	ガスを含まない蒸氣中で加熱した場合		空氣中で加熱した場合	
	50%	99.5%	50%	99.5%
中心に於ける温度變化				
市販の銅	0.023	0.134	75.5	577
軟鋼	0.196	1.16	77.2	589
Loaded ゴムコンパウンド	15.7	93.3	89.5	642
生ゴム	31.4	186	93.1	650

此の表の第 1 の場合に於ては加熱媒體がガスを含まぬ蒸氣であつて、表面傳熱係數が極めて大きく、約 0.41 (c.g.s. 單位) と推定される。第 2 の場合には媒體は流速の小さい空氣 (約 2m/sec) であつて、その表面係數は金屬に對しては 0.00025 又此の表の 2 種類のゴムに對しては 0.00016 であると實驗的に決定されてゐる。又本表に依ると板の両面に熱が均一に加へられた時板全體に與へられた温度變化の 50% 及 99.5% 丈板の中心の温度を變化せしむるに要する時間が分る。良導體と不良導體とで表面傳熱係數が異なることの影響がどれ丈あるかと云ふことを見るには金屬が空氣中で加熱された場合の中心温度がその 50% 丈變化するに要する時間と、蒸氣中で加熱された場合と、その時間との比と、ゴムのそれとを比較すれば良い。此の比の値は生ゴムでは約 3 である。此の比の値は本表の例の 2 種の金屬同志 (銅と軟鋼) との間にも相當の差があることが分る。與へられた厚さの板を加熱するに要する時間の比を決定すべき重要な係數は板の熱傳導率と表面傳熱係數との比であつて、上記の m は此の比を示す。加熱媒體が同一ならば 99.5% 丈の温度變化を生ぜしむるに要する時間と 50% のときの時間の比はすべての物質に對して殆ど一定なることが分る。但加熱が緩徐なる時は急激に加熱する場合よりも此の比の値は稍大きい。Gurney-Lurie の曲線は加熱及冷却の問題の中或る物に對しては有用であるがゴム工業に於ては必ずしも此の曲線を作る時に假定した様な條件が常に成立せぬことが多い。即ち組成が不均一であつたり、表面温度が不均一であつたり傳熱係數が未知であつたり一定でなかつたり形が簡単な幾何學的形態でない場合が多い。従つて實際には試料中の種々の點の温度變化を實測しなければ此の問題は解決することが出来ぬ。

III. 工 程 の 問 題

配合の工程に於けるゴムの冷却の問題に對する研究も亦重要である。即ち微細な粉末をゴム塊中に均一に分散せしめるために苦心を要するしゴムが焦げたり、Prevucanize されることを防ぐ爲に溫度を十分低く保持せねばならぬ、ゴムの扯斷強度や、ゴム中の微細な顔料の分散度は、ゴムの溫度に依つて決定されるから未加硫のゴムは溫度に依つて可塑性が急速に變化する爲に (Karrer, Dieterich & Davis, *I.E. C. Anal. Ed.*, 1930, 2, 96) ゴムの溫度の調節は極めて重大である。唯ゴムコンパウンドを押出しや、カレンダーリングに先立つて、普通の two-roll mill で冷ゴスを短時間處理して、ウォーミングアップする場合丈は、ゴムの熱傳導率が小さいことが却つて有利であると云ふことは面白い。即ち熱傳導率が小さいから表面の冷却效果も非常に小さくて、ゴム塊の内部摩擦に依つて發生した熱量は外部に逃失しないからである。此の際若し同程度の熱を輻射又は傳導に依つて、外からゴムに傳へようとするれば數時間を要するのであるがミル上で處理すれば實に5分間で目的を達し得るのである。容量 210 ポンドのバッチを毎時 4 個處理する混合裝置に對する標準のミルに附屬してゐるモーターの平均所要全馬力は 150 馬力である。傳導裝置、電動機及ミル軸承部の動力損失を差引いた眞馬力は 121 馬力であつて之は 5120 Btu/min. の熱エネルギーに相當する。之丈の熱エネルギーが作業のどの部分にどれ丈配分されるかを圖的に示すと、第 1 圖の熱收支線圖に示す通である。

第 1 圖 ゴム混合ミルに於ける熱收支

各エネルギーハ Btu/min デ示ス

動力の損失は時間的に測定した水量計の讀みと示差複式熱電對で計つて約 66%、バッチ内の物質の初溫度との差より求めたゴム中に存在する顯熱量は 16% で之は needle thermocouple より求めたものである。又之を 100% から差引いた残 18% は輻射、對流に依る損失及理由不明の損失である。此の全動力に相當する熱量を以てすれば若しゴムさへ分解しなかつたら其の溫度を 100°F に迄も高めることが出来る筈である。

IV. 加 硫 の 問 題

加硫反應は他の多くの緩慢な物理化學的諸反應と同様その溫度係数が非常に大きくて加硫度は溫度が 10°F 上昇する毎に、2 倍になる (W. S. Coe & R. H. Gerke, *Ind. Eng. Chem.*, 1939 31, 1478 & 1481)。此の加硫度の増加の割合は配合物の組成及採用した加硫促進劑の種類に依つて異なる。殊に近頃の delayed action accelerator を使用すると溫度及時間の變化と共に著しく變化する。然し乍ら豫備的の試験を行つて溫度と加硫度との間の大體の關係を求めて置くことと便利である。加硫溫度を決定するには先づその試料の加硫の溫度係数を測定した後加硫時間を一定範圍に保つて加硫溫度を種々に變更して得た試料の加硫度を T-50 試験 (Gibbons,

Gerke & Tingey, *I. E. C. Anal. Ed.*, 1933, 5, 279) や、結合硫黄の分析や、弾性係數等加硫度を表はす種々の性質を測定して、最も適當なる溫度を決定するのである。第 2 圖は“pure-gum” rubber のコンパウンドの長いシートを、開放型の金屬圓筒に巻きその上を薄い濕つた布で包んで水の中で加硫した場合の、シートの兩端と中央との時間溫度曲線を示す。此の包んだ試料の厚さは約 1" であるから此の實驗試料の加硫に就いてシート全體に互る加硫效果の部分的の差を小さくするために種々の方法を組合せて行ふことが必要である。即ち先づ第 1 には、最高溫度に急に持ち來さないで溫度を長時間をかけて徐々に高め (A) 最高溫度に達せしめ次に此の溫度 (285°F) を 15 分間保持し (B) 最後に適當な時に壓力を急に 抜いて加熱を中止し試料の中心溫度と表面溫度とを平均せしめる、(C) 壓力を急に抜くと、濕つた、内張布中の水の一部が蒸發しゴム中の熱が除去せられるから約 5 分後にはゴムの溫度はその時加熱器中に存在する蒸氣の壓力 (約 40 psi ゲージ) に相當する溫度 280°F 迄低下する。次に加硫を、加熱を止めた時から測つて更に 20 分間此の一定溫度及一定壓力に保持する。(D) 更に 20 分間に互り徐々に冷却を行ひ (E) 此の際濕つた内張中の水が蒸發してそのため溫度の急激な低下が起らぬ様に、此の冷却期間中空氣と水蒸氣との全壓を一定に保つことに依つて内部に挿入した熱電對の溫度を保持する。此の冷却期が終つたら加熱器中の壓力を更に抜いて急速に大氣壓迄落し (F) 溫度を大氣壓に相當する溫度 210°F 迄下げる。

水密式熱電對を使用して測定した此の加硫中の溫度は第 2 圖 (a) に示す通りであつて圖中の 2 つの曲線は同一溫度を夫々異つた基礎に礎いて定めたものである。第 2 圖 (a) 中、左方の曲線は通常の時間對溫度の關係を表す曲線であつて第 2 圖 (b) は加硫率と時間との關係を表はす。第 2 圖 (b) では便宜上溫度差 18°F 毎についての推定加硫率の 2 倍を以て溫度を目盛つて此の特別の溫度目盛を使用してゐる。

$$\text{加硫度} = \text{加硫率} \times \text{時間}$$

であるから第 2 圖 (b) の曲線の下の部分の面積は加硫された總量に比例する。此の圖から分る如く、シートの端の部分の加硫の全相當效果 (Total equivalent effect) は 240°F に於て 288 分であるのに對し中心部に對する全相當效果は 240°F に於て 216 分である。

(譯者註 標準試料を 240°F に於て 288 分加硫せるものと同一の加硫效果なり、又は 240°F に於て 216 分加硫せるものと同一の加硫效果なりとの意ならん)

即ち、後者の加硫度は前者の 75% であることが分る。

特に長いシートを加硫する場合には從來廣く使用されてゐる他の加硫法に依ればもつと端の部分と中心部との差が大になるであらう。例へば通常のブローダウン冷却法を行つた場合よりも、特殊の加壓冷却法を行つた場合の方が centre ply の全相當加硫度は 17% 大である。大型のニューマティックトラックのタイヤを内部加熱で加硫したものと之と同一のタイヤを内部から熱せずして、加硫したものとを比較すると一般にゴム製品の厚物に對してはその兩面に熱をかけることに依つて加硫時間が著しく節約されることが分るであらう。我が國(アメリカ)に於て内部加熱加硫を始めて行つたのは約 20 年前 B. F. Goodrich 會社に於てである。此の方法はタイヤの内側に厚いゴムシート製の袋を入れ飽和水蒸氣を用ひて約 340°F、100 psi (ゲージ壓力) をかけてそのまま長時間保持して此の間壓力のある熱水を袋とタイヤとの間隙に押しこんでゴム袋の溫度を殆ど一定に保ちタイヤを外側の型に合はせるのである。溫度と時間とを適當に選べば加硫の主な部分に通す水は循環使用する必要がないが特殊な場合には循環使用することが必要な場合もある。溫度と時間との關係を豫め調査して豫定を立ててから内部加熱を始め更に一定時間後に外部加熱を開始する。

第 2 圖 (a) シートラバーの水中加硫の時間温度關係曲線
 (b) 第 2 圖 (a) の加硫時間對加硫率曲線、曲線より下の部分の面積は全加硫效果を表す。

第 3 圖は此の通水用の袋と加硫用の型の取附の關係を表す切斷圖である。此の圖は又第 4 圖及第 5 圖を得るために取附けた熱電對をも示してゐるが、第 4 圖、第 5 圖とは内部加熱を行はないで空氣を入れて加硫した場合と上述の如く熱水を通して加硫した場合の比較を表すものである。此の 2 つの場合に於て加硫度の均一性に著しい相違があることは明瞭に窺ひ知ることが出来る。

空氣袋加硫 (air bag cure) の場合にはタイヤの部分に應じて、4 つ以上の異なる加硫率を得る様にすることに依つてのみ水袋加硫 (water bag cure) の場合と同程度の均一な加硫度を得ることが出来る。旅客自動車等に用ひられるタイヤの様な薄物に對しては此の加硫結果の相違はもつと少い。開放蒸氣中で加硫する場合は一般の型中の加硫の場合の表面傳熱率はゴムコンパウンドの熱貫流率に比すれば極めて大きく殆ど無限大であると考えることが出来る。そのため簡單な形のものに對しては上記の時間と温度との關係を、相當正確に豫知することが出来るのである。然し乍ら或る種の加硫法を行ふ場合には熱傳導率が大でもなく均一でもないこと

第 3 圖 鋼製の型中のタイヤ及水袋の切斷面圖及熱電對の位置

がある、之らの場合には傳熱媒體として空氣、種々の組成の蒸氣、空氣混合物又は水が使用せられる。第6圖はゴム靴の空氣壓加硫の一部分の模範的な時間對溫度關係曲線を示す、之は最初は空氣の溫度を 210°F として一時間の間に 250°F 迄上昇せしめ此の溫度に 1.5 時間保持せしめたものである。最初の 2 時間は壓力 30psi (ゲージ) であつて、以後は大氣壓迄降下せしめる。壓力をかけることに依つて靴のゴムと織物との接合部の構造が一層緊密となり表面傳熱率は増加する。ゴムに熱を傳へるのは主として輻射及強制對流に依るのである。此の第6圖は約 4000 足の靴を加硫しうる加硫器中の代表的な 2 點の空氣の溫度と、代表的な 2 つの靴の一部分の溫度とを示してゐる。此の試験結果に依つても加硫器内のゴム製品が均一に加硫されるためには均一な輻射と對流とが最も重要な因子であることを知ることが出来る、之から亦若し加硫器内の電氣溫度の分布狀況を時間的及空間的にも遺憾なく示す様な熱電對を使用するならばゴム製品中の溫度を測定することは不要であることが分る。

V. 製品の問題

多くのゴム製品、就中、ゴムと繊維とより成るものに於ては使用中に之に與へられるエネルギーが急速な歪力の週期的變化に依つて顯熱に變はることは必然的に起る問題である。設計者及配合者に取つて最も重要な問題は此のゴムの履歴現象に依つて發生する熱を實用上最も小さい値に止めること及出来る丈巧妙に之を排除することである。特に最近の如く、自動車用タイヤに巨大な負荷と苛烈な溫度條件の下に於ける使用が要求される時タイヤ中に於けるエネルギーの内部損失に依る溫度上昇を減少せしめることがタイヤの設計上極めて重要な問題となつた。従つて負荷のかゝつた状態に於けるタイヤの溫度を實驗室内の條件で測定することはタイヤ設計者に取つて配合及構造を變更して效果を知る上に有力な參考資料となるであらう。今日迄知られてゐる限りに於ては動いてゐるタイヤ内の溫度を正確に測定する方法は絶無である。常溫に於けるタイヤと運動中のタイヤの中の空氣の壓力の變化を測定する方法は動いてゐるタイヤ中の平均溫度を表す一種の氣體塞暖計として使用せられたが此の方法に依る時はタイヤの組織の熱膨脹及 Plastic growth と空氣が内部の管壁を通じて擴散することのために大きな誤差を生じ易い。更に平均溫度が分つても大して役に立たず、我々はむしろ、タイ

第4圖 内部加熱加硫中のタイヤ内の溫度

熱が兩面より供給される場合

- No. 1 型に一番近い部分の商品の表面溫度
- No. 2 商品の底
- No. 3 第 12 番目の熱電對の頂點
- No. 4 第 8 番目の熱電對の頂點
- No. 5 第 4 番目の熱電對の頂點
- No. 6 水袋に一番近い熱電對 (第 1 番目) の表面溫度

ヤの最高溫度がどの部分にあるかを知りたいのである。その爲には丁度停止したタイヤ中に正確に測定した深さ迄一種の道具を使用して細い針金製熱電對を挿入して測定すれば良いのである。タイヤが靜止した瞬間から一定の時間を置いて數分毎にその溫度を測定すれば我々は外挿法に依つてその部分の運轉中の最高溫度を知ることが出来る。此の様にして大きなタイヤの常負荷及壓力にて高速運轉中の最高内部溫度を測定すれば、それが 210°F 以上、殆ど加硫溫度に近い溫度に迄達してゐることが分る。然しトラックやバスの所有者達は此の様なタイヤも 20~60 miles/hr の速度で休み無しに 1000 時間以上の使用に堪えることを知つてゐる。タ

イヤを極めて低速運轉に使用する場合以外はタイヤの厚さは出来る丈薄くした方が良い。厚さを増すと熱が内層から流れ出すことを邪魔して温度を上昇せしめるのみならず増した厚さが又それ自身熱を發生する。故に厚さを増すと、タイヤ組織中の温度は加速度的に上昇する。

高速運轉の目的に對しては多くの場合に肉の薄いタイヤの方が却つて標準の Heavy gauge tire よりも多くの點に於て優つてゐる。V-ベルトも又その壽命が内部の温度に依つて決定されることが多い、V-ベルトの受取試験が非常に嚴重であると、V-ベルトの若干は發生する熱のために切れたり、配合物中の有機物が熱分解したり、綿布が焦げて切れたりする。それにも不拘最近迄は此の様に不完全なベルトが通常使用されてゐたのであるが配合の研究と、ベルトの組織の研究に集中されて、現在の V-ベルトは昔のものよりも熱を發生することが少く、その壽命も約 1000 倍に達してゐる。週期的の高温度を受ける様なゴム製品中に發生する高温度はトラック自動車のソリッドタイヤ中にも起る、之はタイヤの断面中の熱の中心が 500°F 以上に達し、ゴムが切れて相當高壓のガスを發生し、そのために外表のゴムの層が破裂するのである。猶ゴムの熱的故障としては以上の外高壓の冷水の調節弁をゴムで蔽つた装置に依つて實驗することが出来る。直径 1/4" の噴射口より噴出する高壓の水が金屬面に結合した厚さ 1/4" のゴムの層に打つかつてゴム中に熱を發生する。此の場合ゴム試料を 40°F の冷水中に浸して置いても數分間で試料が破壊する。ゴム内張の化學裝置に對しては熱傳導の問題が重要である。一般に化學裝置に使用する反應器は水ジャケット又は水の蛇管で行ふのであるが之らの傳熱面

第5圖 空氣袋加硫中のタイヤ内温度
熱は外部のみより與へられるとする、熱傳對
の位置、袋及型は第4圖の場合と同様

第6圖 靴の加壓空氣加硫の熱電對に係る測定數値

を化學的の腐蝕に對して防禦するためにゴムで蔽ふことがある。今その模範的な一例として、ゴム内張を施した反應器中の 160°F の水溶液を、その周回の水ジャケットで冷却する場合につき述べる。ゴムは厚さ 1/8"、その熱傳導率を 1.2Btu/(hr (ft²) (°F/in) とする。冷却水の平均温度を 80°F とする、タンクの内面及外面の循環條件に依りその傳熱係数は約 300Btu/(hr (ft²) (°F) であつて、反應器の壁の厚さは 1/4" の鋼となる。全體の熱抵抗は 2 つの水の境界抵抗、ゴムの熱抵抗、鋼の熱抵抗の和であつて即、

$$R = 1/h_s + 1/k_r/t_r + 1/k_s/t_s + 1/h_r$$

茲に h_s = 表面傳熱係數、 k_r = ゴムの熱傳導率、 t_r = ゴムの厚さ、 k_s = 鋼の熱傳導率、 t_s = 鋼の厚さ、すると

$$\begin{aligned} R &= 1/300 + 1/1.2/5/8 + 1/312/1/4 + 1/300 \\ &= 0.003 + 0.104 + 0.008 + 0.003 \\ &= 0.1108 \text{ [(B.t.u)/(hr)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)]}^{-1} \end{aligned}$$

即、總括傳熱係數 = $1/0.1108 = 9.0$

$$\text{B.t.u/(hr)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

即、1/8" の厚さのゴムの熱抵抗は全體の熱抵

抗の約 95% を占めることが分る。之に對して水の膜の熱抵抗は之に比較して無視し得る程度である。勿論ゴム内張せざる裸の金屬面の場合の反應器に於ては水の膜の熱抵抗は全熱抵抗の約 88% にも達する。然し乍らゴム内張をしたものと裸の傳熱面のものとを同一の厚さに就いて論ずることは誤であつて金屬では如何なるものを以てしても役に立たぬこともあるし又特殊の化學的抵抗性の強い合金を使用する場合にはその厚さを大にせねばならぬこともあり従つてその熱傳導率も又低下するから必ずしもゴム内張のものの熱傳導率が不良であると一概に決定するわけには行かない。

VI. 熱電對其他に依る溫度測定

ゴム工業に於て使用せられる熱電對の技術に就いて論ずることは此の論文の範圍を超えるが一般的な設計様式を示すためにその裝置と回路との例を少しばかり示さう。第 7 圖は靴の加硫用の直徑 8ft. 長さ 40ft. の空氣加熱器に使用するために設計せられた鐵コンスタンタン線の熱電對のセットで 40 點指示用である。各回路は高溫接點 (Hot junction) から低溫接點 (Cold junction) につながつてゐる處の 1 對の熱電對より成りスイッチ内の熱電効果を消去するためにスイッチは cold junction と、ポテンシオメーターを結ぶ銅線の途中に設ける。工場に於ける操作の速度に測定技術を適合せしめる必要上、加熱器中に靴を搬入するために使用する車中に熱電對を設置する。鉛針金製の 10 本の回路、低溫接點及パッキンググランド取附器を有する 4 本のケーブルが加熱器の壁に適宜に挿入されて居てそれらは一つの氣密のパッキングでとめられてゐる。低溫接點と鉛線との間に連絡は多回路連結器でなされてゐる。可搬式のポテンシオメーターで一分間に約 10 個の測定を行ふ。此の裝置は周知の實驗室的方法の半實用的の應用裝置である。之を設計するに當り、次の 2 つの要件がある。

(a) 加熱器の内面と外面との間に大なる溫度勾配があつても之に依るあらゆる熱電効果を打消し又同様に導線及計器上に相當大きな熱輻射が與へられてもそれに依る熱電効果を消去し得ること。(b) 試驗溫度を出来る丈實際製造の場合の溫度に近からしめるため、及空氣溫度の迅速なる變化を出来る丈廣くよむ必要上多數の點の一つ一つに就いて再三測定を行ふために、操作の早さを適當ならしめ得ることである。

第 6 圖に示す曲線は此の裝置に依つて得たものである。第 8 圖は蒸氣及水に依つて加硫したタイヤ等の製品の研究に用ひられた裝置を示す、蓋を開いた加熱壓搾器の内部には一番上部のタイヤ型とそれに挿入した熱電對が見られる。之らは通常卑金屬製の熱電對線で出来てゐる加硫溫度に於て蒸氣に對する長時間の曝露に堪えるゴムコンパウンドで蔽はれてゐる。導線は接續部筐 (Junction box) と、パッキング・グランドとを経て、氷で冷した低溫接點筐 (Cold junction bottle) に連り、之より銅線に依つてスイッチと連結する、スイッチは溫度勾配を出来る丈避け得る様絶縁されて居り可搬式ポテンシオメーターに連る。低電位差の熱電時回路中に於ける熱電氣的誤差の重大性は極めて大きい。他の點は極めて完全に調節されてゐる實驗室の裝置に於ても此の種の誤差が閉却されてゐることが多い。突發的に空氣の移動が起つたり、又熱輻射が侵入することの爲に最高 300°F 迄測定しうる様 (約 8mV) 設計せられた回路中に於て 0.15mV の誤差を起すことがある。狭い溫度範圍を測定する熱電氣式計器に於てはその接續點をハンダ附にしても猶熱電時に使用する導線が各部均一になつてゐるものを使用し組織の不均一性不連續性を避ける様にした方が賢明である。低溫接點の部分の溫度が正確に測定せられ偏差から迅速に回復し殆ど常に回路の兩側の電位差を一定に保ち得る場合の時は自動式又は手動式の cold junction compensator は使用しない方がよい。低溫接點は注意深く製作して約 1 立入の魔法瓶が石英製の眞空瓶の中に入れた清潔な氷中に入れるのが良い。實用的に使用される可搬式の裝置は之を注意深く使

用してすべての熱的誤差や補正の誤差がないならば $\pm 0.5^{\circ}\text{F}$ 以内の正確な結果を得ることが出来る。ゴム工業全般を通じて見ると 400°F 迄の此の種装置を最も多く使用するであらう。補償装置 (compensator) に對する一般的注意はニッケル抵抗橋又は他の型式の cold junction compensator 中に挿入された良質の實用的自動電位差計型溫度記錄計には當て嵌らない。此の種の器械は通常は記録又は調節の操作に便利な様に恒久的裝置として設備されてゐるが之らは又試験用としても適當であるが2點以上の迅速な読み取りには適しない。直接測定式熱電時は特に、ミルロール及カレンダーロールの溫度を測定する場合や、生ゴム、配合ゴムの溫度を測定する場合に使用せられる。

前者の場合にはその高溫接點は熱電時合金の帶金の中心につけられてあつて、若干重量をかけて、手で支へる式の枠でロールの廻轉表面に接觸する様に押しつけられてゐる、ゴム原料の溫度を測定するには之とは別の stainless steel 製の注射針型の針で保護せられた手持熱電時で行ふ。直接測定式熱電時は感度の良いマイクロ・アンメーターであつて二種金屬製の cold junction compensator が附屬してゐる。之らの器械は補正の誤差、瞬間的の熱の影響及平衡位置の誤差を補正せねばならぬ。然し乍ら手持式直接讀取式の器械の便利さはその正確度が若干小さいことを償つて餘りある程便利さの點で優れてゐる。

VII. 總 括

工業上3つの重要な熱の問題とは

- (1) 生ゴムの加工工程中に於ける發生熱の調節。
- (2) 出来る丈短い時間内に於て、最も均一な加硫を行ふための加熱及冷却の調節。
- (3) 週期的の歪力が加へられることの爲に、製品中に發生する熱量の測定及此の熱量を小さくすることである。

之ら3つの問題に對しては化學者、物理學者及工學者の注意を必要とする。化學者は常に加硫溫度即 $240 \sim 320^{\circ}\text{F}$ に於ける急速加硫を促進する様な新しい混合劑及藥品の配合を研究せねばならぬ。しかも、その様な配合ゴムは未加硫の儘では約 220°F 迄の溫度に於ては加工溫度に鈍感でなくてはならぬ。又加硫を行ふ場合に 200°F 以上の溫度に於て永く使用に堪えるものでなくてはならぬ。工學者は加硫裝置及、之と關係のある自動調節裝置を設計せねばならぬ。又、配合ゴムと附屬部分とを如何に組合せて製品とするかの方法を考へねばならぬ。物理學者は生ゴム、配合ゴム、及製品の熱的性質を測定し之を解析せねばならぬ。又製造工程と關聯のある熱的問題についての實驗室的研究を、工場的研究に應用せねばならぬ。之ら3者の共同に依つて、始めてもつとも安い價格でもつとも良い製品を消費者に供給することが出来るであらう。