

を得た。

(1) 合成スラグ処理により、溶鋼の脱硫が短時間に進行する。すなわち、迅速精錬の効果が認められる。

(2) ほかに Al, Si などが若干減少する。O はこのような処理では大きな変化を示さぬことが多い。

(3) 合成スラグ処理により、硫化物系介在物は減少し、一般に介在物の大きさが小さくなる傾向が認められる。

(4) これにともなつて清浄度も向上の傾向を示す。

(5) 合成スラグ処理により Al を用いる肌焼鋼の粒度調整に対し、害はなく細粒が得られる。

(6) 合成スラグ処理により機械的強度の改善、すなわち伸び、絞りなどの値が向上し、とくに衝撃値の向上はいちじるしい。

以上の結果は前節の小型実験炉による試験結果と同じ傾向を示しており、その結果を確認したものといえる。

IV. 結 言

溶鋼の合成粉末スラグ処理は鋼の迅速精錬をねらつたものであり、本実験の結果、主として脱硫の推進により鋼質改善に効果のあることがわかつた。ここでは炭素鋼を対象としたが、さらにひろい応用、精錬のメカニズムに関する基礎実験などについては別に報告する。

終りにのぞみ、本研究に対し、懇切なる御指導ならびに御鞭撻を下さつた大同製鋼、中央研究所長、浅田千秋博士に深く感謝する。

文 献

- 1) 加藤：鉄と鋼，48 (1962) 13, p. 1659~1666

鋼種による熱応力亀裂の発生度合を比較するための 高温弾性率および熱膨脹率の測定*

(鋼塊の熱応力亀裂に関する研究—III)

原 隆啓**・高田正男**・太田邦夫**・鳥谷 徹**

The Measurement of Modulus of Elasticity at High Temperature and Coefficient of Thermal Expansion for the Comparison of the Rate of Frequency of Thermal Stress Crackings in Various Steels.

(Study of thermal stress cracks in steel ingots—III)

Takahiro HARA, Masao TAKATA,
Kunio ŌTA and Tōru KARASUDANI

Synopsis:

According to the kinds of steels there are some differences in the frequency of thermal stress crackings which occur in the heating process of ingots. In this report, we measured Young's modulus and the coefficient of thermal expansion of typical steels, within the temperature range of room temperature to 1000°C, because they influence the thermal stress. And using the results we compared the rate of frequency of thermal stress crackings according to the kinds of steels.

The results obtained are as follows:

(1) It was found that the Young's modulus decreases rectilinearly up to 400°C and curvilinearly over about 500°C to 600°C in all the steels tested. And the modulus is not influenced greatly by a small change of the components, the inclusions heat treatment, etc. of steels, but there is some difference among the kinds of steels classified roughly.

(2) As for the coefficient of thermal expansion there is little difference with a small change in heat treatment for the same kind of steels but a considerably large difference

* 昭和37年10月本会講演大会にて発表 昭和37年10月13日受付

** 山陽特殊製鋼株式会社

according to the components of steels. This influence of the components is not very great under the transformation point but it becomes very great above the point (i. e. Austenite range). Especially when carbon content increases, the coefficient of thermal expansion increases heavily.

(3) To estimate the magnitude of thermal stress which occurs when steels complete the transformation we utilized Young's modulus and coefficient of thermal expansion, and found that thermal stress increases chiefly in accordance with the increase of carbon content.

It follows from this that thermal stress is greatest in hyper-eutectoid steel of JIS SK2, SUJ 2,3. Consequently we can conclude that thermal stress crackings are most liable to occur in these kinds of high-carbon steel.

(Received 13 Oct. 1962)

I. 緒 言

鋼塊の加熱過程に発生する熱応力亀裂は、鋼の種類によつて違いがあるが、この原因を探求するために行なつた実験結果についてのべる。前報¹⁾²⁾において、熱応力および変態応力の計算方法について報告したが、熱応力は弾性率と熱膨脹率の双方が影響するために、代表的な鋼種を選び、常温から 1000°C の温度範囲における両者の測定を行ない応力計算に供した。またこの結果から鋼の成分の違いによる熱応力亀裂の発生度合を比較検討した。

II. 高温弾性率の測定実験

1000°C 程度までの高温における弾性率、剪断弾性率およびポアソン比の変化をいろいろな鋼種について、実測値を報告したものは割合に少ない。われわれは、ここに、10種類の鋼を選び、常温から約 1000°C までの弾性率を測定し、これらの鋼に近似するものについて文献による実測値とを比較検討した。

室温ならび高温において、弾性率、剪断弾性率およびポアソン比を測定するために用いられる実験方法として多数の報告があるが、そのおのおのにおいて測定結果は必ずしも一致していない。これらの測定方法を大別すれば、静的なものゝ動的なものゝわけられ、次に示すご

とく分類される。

i) 静的荷重状態

a. 単純引張り試験

b. 曲げおよび振り試験³⁾

ii) 動的荷重状態

a. 試料の固有振動数を測定し計算で求める方法

(これには、針金状試片よりなる振子の振動数から求めるものと、外部から試片に振動を与え、共振を起こさせて固有振動数から求める方法の二つがある)。

b. 試料中に通じた超音波の伝播速度から求める方法 (超音波の縦波および横波の伝播速度を測定して、弾性率、剪断弾性率およびポアソン比を求める)⁴⁾。

以上のような測定方法自体からいろいろの誤差が生じたり、また高温であるために装置的に測定困難なものもある。

本実験では、静的荷重の単純引張り試験によつて測定を行なつた。実験に使用した試料は炭素鋼、合金鋼および高合金鋼の中から化学成分を Table 1 に示すものを選んだ。熱処理記号 Ⓐ は連続焼鈍炉の球状化焼鈍であり、790°C × 3h および 730°C ~ 685°C × 6h 加熱後徐冷したものである。記号 Ⓑ は熱間圧延後そのまま空冷、Ⓒ は鍛造後空冷したものである。

試験片の寸法は Fig. 1 に示す。実験装置は高温クリープ試験機を使用し、その略図を Fig. 2 に示す。試験

Table 1. Chemical composition of specimens.

Steel No.	Grade of JIS	Chemical composition (wt %)									Heat Treat
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
1	S 45C	0.47	0.35	0.75	0.028	0.022	0.12	0.13	0.01	0.30	Ⓑ
2	SUJ 2	0.93	0.30	0.43	0.013	0.013	0.08	1.33	0.01	0.13	Ⓑ Ⓐ
3	SUJ 3	0.96	0.65	1.06	0.008	0.012	0.10	1.02	0.02	0.13	Ⓑ Ⓐ
4	SCM 3	0.36	0.34	0.87	0.013	0.015	0.10	1.18	0.28	0.14	Ⓑ
5	SCM 4	0.36	0.29	0.75	0.012	0.013	0.08	1.06	0.24	0.14	Ⓑ
6	SCM 22	0.19	0.30	0.77	0.024	0.018	0.09	1.10	0.20	0.13	Ⓑ
7	SNC 2	0.28	0.25	0.49	0.017	0.016	2.99	0.76	0.03	0.16	Ⓑ
8	SNC 22	0.14	0.18	0.43	0.013	0.037	3.22	0.80	0.02	0.15	Ⓑ
9	SUS 22	0.16	0.28	0.80	0.027	0.014	0.12	12.51	tr	0.08	Ⓑ Ⓐ
10	SUS 27	0.057	0.88	1.73	0.019	0.012	10.57	19.30	tr	0.03	Ⓑ

Note: Ⓑ as hot-rolled, Ⓒ as hot-forged, Ⓐ as spheroidizing annealing.

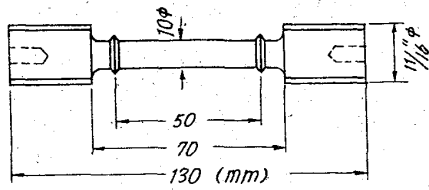


Fig. 1. Test-specimens for the measurements of Young's modulus.

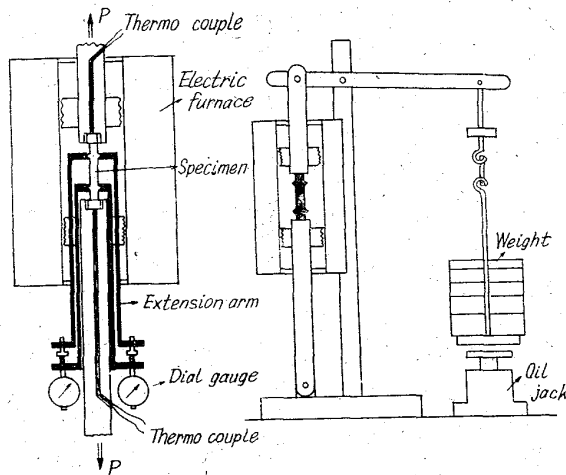


Fig. 2. Schematic diagram of test apparatus for determining Young's modulus at elevated temperature under static tension.

片の加熱は抵抗炉を用い自動温度調節器により $\pm 5^\circ\text{C}$ の範囲に調整した。荷重のかけ方は天秤式であり、ジャッキによつて静かにかけるようにした。伸びはステンレス製の支持装置に取り付けた2コのダイヤルゲージによつて測定した。ダイヤルゲージの精度は $1/1000\text{mm}$ であり、読みは2コの平均値をとつた。高温度になれば、塑性変形が増加し測定結果が安定しないので、除荷のときの縮みを測定した。また測定はできるだけ短時間に行ない弾性余効を無視し測定誤差が少ないように充分考慮した。

III. 高温弾性率の実験結果と考察

実験結果を Fig. 3 に示す。この測定結果からわかることは、かなり慎重な測定にかかわらず測定値のバラツキが非常に大きく、とくに高温度における弾性率の微細な変化を測定することはできなかつた。しかしながら、統計的にその変化を知り熱応力の計算をなすには十分である。つぎに、現在までに発表されている文献を調査し本実験の測定結果と比較検討する。

ZENER(1948)⁵⁾は金属の弾性率および剪断弾性率は熔融点まで温度上昇とともに直線的に変化するものである

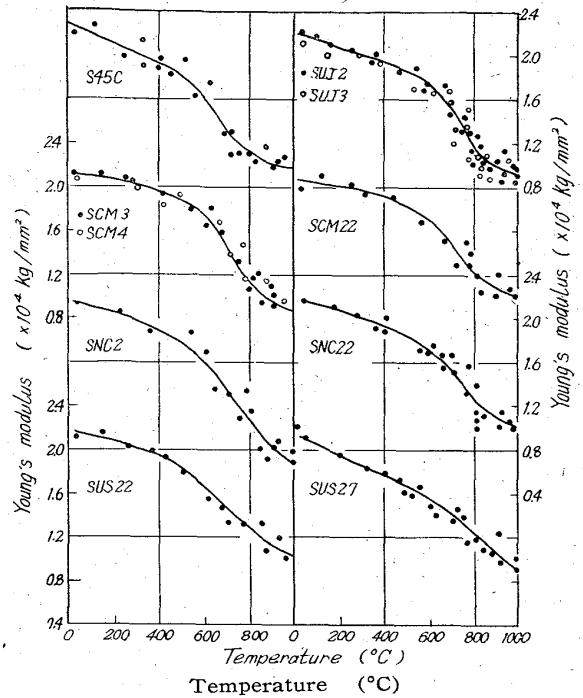


Fig. 3. Variation of Young's modulus with temperature in various steels.

が多結晶金属は、ある温度限界を越えると種々の型の不連続、すなわち直線からの脱落が見られることを指摘している。この因子として挙げられているものは、結晶構造の変化、規則、不規則変態、磁気変態および結晶境界の剪断応力の弛緩などの内部的变化をあげている。

弾性率の温度変化を実測した結果は ANDREWS⁶⁾ および GAROFALO⁵⁾によつて示されているが、多くの金属について大体同様な傾向を示し、共に 400°C 付近までは直線的に変化し、 $500^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ 付近で曲線的に下降している。また、KÖSTER⁷⁾の純鉄による測定では、 900°C 付近で変態による微細な変化があり、それが加熱時および冷却時による差異がはつきりと測定されている。われわれの測定結果では、バラッキが大きいためにこのような微細な変化は測定できなかつた。

一般に弾性率、剪断弾性率およびポアソン比などは組織不感性 (structure-insensitive) といわれており、わずかの添加元素や不純物あるいは熱処理などによる影響はそれ程あらわれない。GAROFALO⁵⁾は静的および動的試験によつて、約20種の炭素鋼、合金鋼そしてステンレス鋼の測定を行なつてゐるが、その鋼種による差異は明瞭でなく、結局として彼は、フェライト系鋼、高クロム系ステンレス鋼およびオーステナイト系ステンレス鋼の3種類に総括している。このように鋼の種類による差は認められないが、例えば静的および動的測定のごとき測定方法の相違によつて幾分異なつた値が求められてい

Table 2. Chemical composition of specimens.

Steel No.	Grade of JIS	Chemical composition (wt %)										Heat treat & hardness No. HB	Structure
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Sn		
1	S10C	0.11	0.31	0.60	0.010	0.016	0.13	0.02	0.01	0.19	0.030	Ⓔ 148 Ⓐ 110	Ferrite+Pearlite " "
2	S45C	0.45	0.25	0.08	0.024	0.018	0.06	0.04	0.01	0.10	0.025	Ⓔ 244 Ⓐ 138	" " " "
3	SK6	0.73	0.18	0.23	0.028	0.021	0.08	0.03	0.01	0.15	0.040	Ⓔ 404 Ⓐ 171	" + Sorbite " + Sphero pearlite
4	SK4	0.94	0.21	0.22	0.010	0.012	0.06	0.090	0.01	0.14	0.026	Ⓔ 234 Ⓐ 157	" + Sorbite " + Sphero pearlite
5	SUJ2	0.95	0.24	0.40	0.015	0.010	0.09	1.37	0.01	0.14	0.035	Ⓔ 311 Ⓐ 160 Ⓞ (712)	Cementite+ Sorbite Sphero pearlite Martensite Cementite+ pearlite
		0.95	0.34	0.44	0.009	0.009	0.07	1.38	0.01	0.14	0.030	Ⓞ 283	
6	SUJ3	0.96	0.62	0.90	0.010	0.012	0.05	1.03	0.01	0.10	0.018	Ⓔ 271 Ⓐ 185	Cementite+ Sorbite Sphero pearlite.
7	SUR1	0.32	0.e0	0.67	0.022	0.017	2.98	0.40	0.33	0.08	0.015	Ⓐ 327	Ferrite+pearlite
8	SCM3	0.38	0.29	0.82	0.009	0.011	0.08	0.96	0.18	0.24	—	Ⓔ 288 Ⓐ 157	" " " "
9	SNCM5	0.25	0.40	0.48	0.010	0.010	2.50	2.94	0.54	0.14	0.029	Ⓔ 362 Ⓐ 185	" " " + Sphero pearlite
10	SCr21	0.12	0.21	0.79	0.018	0.035	0.09	1.04	0.01	0.13	0.028	Ⓔ 162 Ⓐ 114	" + Pearlite " + Sphero pearlite
11	SNC22	0.12	0.31	0.45	0.016	0.017	3.32	0.83	0.01	0.15	0.032	Ⓔ 354 Ⓐ 209	" + Pearlite " + Sphero pearlite
12	SUS22	0.17	0.37	0.83	0.029	0.022	0.16	12.53	—	0.09	—	Ⓔ 362 Ⓐ 186	Martensite Pearlite
13	SUS27	0.06	0.73	1.78	0.026	0.019	10.12	18.3	—	0.03	—	Ⓔ 178 Ⓐ 163	Austenite "

Note: Ⓔ as hot-rolled, Ⓐ as spheroidizing annealing, Ⓞ as water quenched from 840°C, Ⓞ as just taken from the ingot.

る。したがって鋼の成分による差よりもむしろ測定方法による差の方が重要視されている点が注目される。

本実験によつて求めた結果と GAROFALO および ANDREWS の3者について、フェライト系鋼およびオーステナイト系ステンレス鋼の比較を行なつたのがFig. 4である。3者の値は幾らかの相違は認められるが、測定にはバラッキがあり本質的には一致しているものとみて差支えないと思う。したがって本実験結果の数値を高温応力の計算に使用しても十分であると思われる。

つぎに、ポアソン比の温度変化は、文献によれば温度とともに直線的に上昇するといわれている。PISSAREWSKY⁶⁾によれば、金属が高温になれば、完全塑性状態に

対する値として0.5に向つて上昇すると推定しているが、この変化は相当大きすぎるように思われる。GAROFALOの測定によれば、本質的には温度による変化は見られないといつている。彼の静的測定値では、約800°Cの高温までもほとんどポアソン比の変化を認めていないが、動的測定値では0~800°Cの間において0.30から0.35まで直線的な上昇が測定されている。このような実測結果からポアソン比の温度変化はあまり小さくなく、応力計算にはそれほど影響がないものと判断される。

IV. 熱膨脹率の測定実験

熱応力の主要原因をなす熱膨脹率について、いろいろの

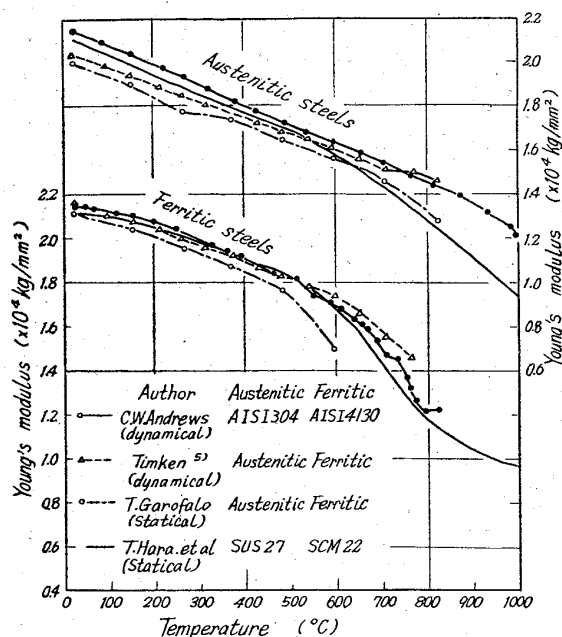


Fig. 4. The comparison of Young's modulus of the author's results with the other ones.

鋼種を測定した。本実験では、熱膨脹率が鋼の種類によって変化するものだけでなく、その鋼の熱処理状況による影響もあわせて測定した。また、この研究の目的として、とくに変態点付近の状況について詳しく測定し、いろいろな鋼種による比較を行ない、熱応力または熱歪の

発生度合を調べ、熱応力亀裂の可能性を調査した。

実験に使用した試料は炭素鋼、合金鋼および高合金鋼の中から選んだ。その化学成分は Table 2 に示す。

熱処理記号④、⑤は弾性率の測定試料と同様、球状化焼鈍および熱間圧延のままのものを示す。記号⑥は 840 °C から水中焼入れ、そして⑦は鋼塊の本体から切り出した試料を示す。

試験片の寸法は 5mm φ × 80mm L であり、装置は望遠鏡による鏡反射式の熱膨脹計を使用した。高温の加熱はスケール発生防止のため真空雰囲気中 (10⁻² mm Hg) にて行ない、加熱速度は一番再現性のよい 200 °C / h を選び一定条件で測定を行なった。また、実験は常温から約 1000 °C までの温度範囲で行なった。

V. 熱膨脹率の実験結果と考察

測定資料の集計方法は、熱膨脹率の温度変化を 100 °C 範囲毎にその平均膨脹率を求め Table 3 の上段に集計した。また、熱応力の計算に利用するために、変態点付近における熱膨脹の変化を Fig. 5 に示すごとく、変態前、変態中および変態後の 3 つの直線と仮定した。一般に変態による収縮変化は大別して、次の 2 つの型にわけられる。低炭素鋼では Fig. 5(a) に示すように、大きなカーブで変化するから 3 つの直線は近似的に図上で面積の平均線と仮定する。また、高炭素鋼および合金鋼は

Table 3. Mean thermal expansion coefficient in every 100 °C range and transformation temperature and measurement of contraction throughout transformation of various steels.

Steel °C Temp. range	Steel												
	S 10C	S 45C	S K 6	S K 4	S U J 2	S U J 3	S C M 3	S N C M 5	S C r 21	S N C 22	S U R 1	S U S 22	S U S 27
0~100	12.3	11.8	11.4	11.0	10.8	10.7	10.8	10.4	10.9	11.2	11.4	10.1	14.7
100~200	13.4	12.8	11.7	11.5	12.3	11.7	12.1	11.0	12.1	12.2	11.5	11.2	18.2
200~300	14.5	13.7	13.2	12.2	15.3	12.1	13.4	12.0	13.5	12.8	12.2	11.8	18.9
300~400	15.4	14.8	15.2	13.0	16.7	15.1	14.6	13.0	14.6	13.5	13.4	12.0	19.3
400~500	16.0	15.7	16.7	14.8	16.8	16.7	15.3	14.4	15.1	14.0	15.3	12.2	19.6
500~600	16.8	16.7	17.0	16.0	17.1	17.1	15.3	15.3	15.7	14.0	16.3	12.6	20.2
600~700	18.0	17.0	17.0	17.0	17.2	17.2	16.3	15.3	16.0	14.0	16.3	12.8	20.7
700~800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.8	21.0
800~900	—	19.0	25.8	27.7	31.5	31.1	—	24.5	—	19.5	21.4	—	20.7
900~1000	22.0	19.0	25.8	27.7	31.5	31.1	22.0	24.5	22.4	19.5	21.4	15.0	20.5
θ_1	745	725	734	741	749	747	753	743	750	724	700	807	—
θ_2	872	784	758	762	775	771	804	800	842	790	750	844	—
$\theta_2 - \theta_1$	127	59	24	21	26	24	51	57	92	66	50	37	—
δ	1.35	1.69	0.84	1.16	1.60	1.37	1.95	1.98	1.56	1.98	2.20	1.65	—
α_1	18.0	17.0	17.0	17.0	17.2	17.2	16.3	15.3	16.0	14.0	16.3	12.8	—
α_2	-10.7	-28.6	-35.0	-55.2	-62.7	-59.1	-38.2	-34.8	-17.0	-30.0	-44.0	-44.6	—
α_3	22.0	19.0	25.8	27.7	31.5	31.1	22.0	24.5	22.4	19.5	21.4	15.0	—

Note: θ_1 and θ_2 are beginning and completing temperature of the transformation (°C).

δ is the measurement of contraction throughout transformation ($\times 10^{-3}$ mm).

α_1 , α_2 and α_3 are thermal expansion coefficient of pre-, mid- and post-transformation stages ($\times 10^{-6}$ mm/°C).

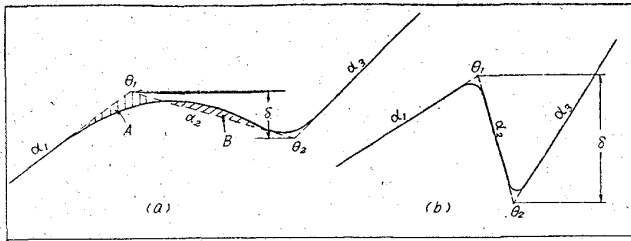


Fig. 5. The method for changing the thermal expansion curve into three straight lines near the transformation point for the use of stress calculation: (a) type of low-carbon steel, (b) type of high-carbon steel and alloy steel. α_1, α_2 and α_3 represent the expansion coefficient of three respective lines, and θ_1, θ_2 the transformation temperature. In (a) θ_1 is determined so that area A may become approximately equal to area B.

(b)のごときもので、3つの直線はかなり実際に近似したものとなる。ここで、 θ_1 および θ_2 をそれぞれ変態開始および完了温度で、 δ は変態収縮量、また $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ はそれぞれ変態前、変態中および変態後の熱膨脹率を示す。そして実験結果を Table 3 の下段に記載した。

熱膨脹率の測定において、同鋼種における熱処理の影響は、特別な焼入れ組織Qの試料を除き、A, B, Cについては、ほとんどその相違は認められなかった(厳密には多少の測定のバラッキがあつたが、その有意差は認められなかった)。したがつて、Table 3 には、それら測定値の平均を示した。

熱膨脹率の成分による変化は、変態点以下の場合、成分による影響は明瞭でなく、また、その変化もあまり大きくないが、変態点以上のオーステナイト域では、成分による影響が大きく、とくに炭素含有量による変化ははなはだしい。この傾向は、炭素含有量の増加にしたがつて熱膨脹率が増加し、その中でも過共析成分のSK2およびSUJ 2,3 付近の成分がもつとも大きいことがわかつた。

VI. 熱応力の発生割合

鋼塊が加熱される場合、内部における温度分布の不均一によつて熱応力または熱歪が発生するが、前報¹⁾において、変態点を通過するとき温度分布の不均一(ここでは表面-中心温度差)は最大となることを示した。また、オーステナイトはフェライトより熱膨脹率が大きく、このことから変態完了時の熱歪が最大となることがわかつた。ここで、鋼塊中心が変態完了して完全なオーステナイトになつたときを考える。もし、このときの温度分布ならびに他の塑性流動などの条件が同一であると

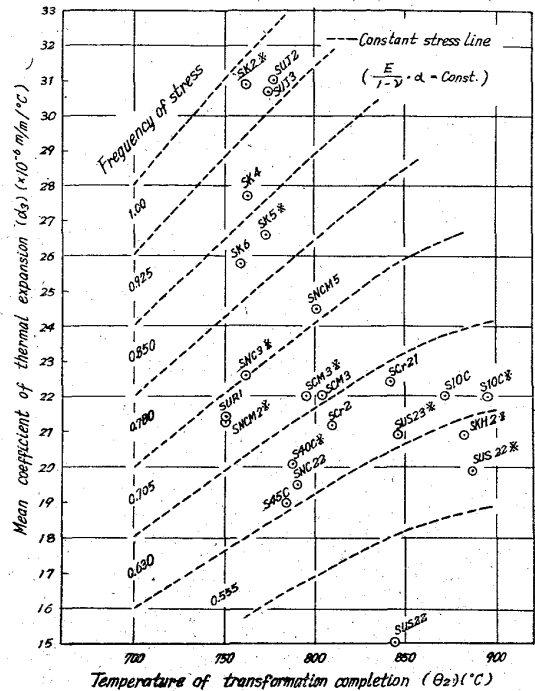


Fig. 6. The relation between the temperature of transformation completion and the mean coefficient of thermal expansion at transformation completion in various steels; where, frequency stress = $\{\alpha E / (1 - \nu)\}$ of various steels / $\{\alpha E / (1 - \nu)\}$ of SUJ2 steel. (* by G. G. SHERRATT)

仮定した場合に、熱応力の発生する割合は、熱膨脹率と弾性率の相乗積に比例することになる。この状況を簡明にまとめたものが Fig. 6 である。この図はいろいろな鋼種の変態完了温度に対し、その熱膨脹率の関係を示したものである。なお、文献²⁾⁴⁾から JIS に類似した鋼種のものを選び、その値を同時に記載した。ここで、その鋼種の変態完了するとき同一な温度分布を有した場合の熱応力発生割合を比較するため、等応力線を示した。この等応力線を求めた根拠は、前報¹⁾の全歪(A)式を応力(9)式に代入し応力を求めると、弾性項のすべてに $\alpha E / (1 - \nu)$ の定数項が現れるから、単に $\sigma \propto \alpha E / (1 - \nu)$ とおき、 E および ν をフェライト系鋼の値を用いて求めた。なお、応力発生割合 (Frequency of stress) は、SUJ 2,3, SK 2 付近の応力を 1.0 とおいたときの割合を示したものである。

この Fig. 6 によつてわかることは、変態完了時の応力発生割合は鋼の成分により大きな相違があり、とくに炭素含有量による影響ははなはだしい、いわゆる低炭素鋼は小さく、高炭素鋼は大きい。その中でもやはり過共析成分のSK2 およびSUJ 2,3 程度の鋼がもつとも大きいことが明らかであり、熱応力亀裂が低炭素鋼には

ほとんど発生することがなく、高炭素鋼にのみ発生することがこの結果から推定することができる。

つぎに、いろいろな鋼種における熱応力の発生割合をさらに明確にするために、前報¹⁾に求めた熱伝導の理論式により、同一な形状の鋼塊で、同一な表面温度上昇にて加熱を行なった場合のいろいろな鋼種における変態完了時の表面—中心温度差の発生割合を計算によつて求めた数値と、ここに求めた弾性率ならび熱膨脹率の割合によつて、応力発生を比較したものを Table 4 に示した。この表からも、変態完了時に発生する応力の大きさが、高炭素鋼が非常に大きく、SUJ2, 3, SK 2, SK 5 の順に小さくなることがわかった。

以上の結果から、実際作業上において、低炭素鋼々塊ではほとんど熱応力亀裂が発生しない条件でも、高炭素鋼々塊では多数の亀裂が発生する事情を十分に説明することができる。

VII. 結 言

(1) 高温弾性率の測定について

Table 4. The comparison of the frequency rate of thermal stress cracking in various steels at the completion of transformation when the ingots of the same section size are heated with the same surface temperature elevating curve.

Steels	Occurring rate at the completion of transf.		
	Surface-center temp. diff.	Young's modul. coeff. therm expansion	Stress
SUJ 2,3	1.00	1.00	1.00
S 10C	0.65	0.60	0.39
S 40C	0.87	0.65	0.56
SK 5	0.89	0.85	0.75
SK 2	0.91	1.00	0.91
SNC 2	0.83	0.75	0.62
SNCM2	0.87	0.70	0.61
SCr2	0.78	0.65	0.51
SCM3	0.83	0.70	0.58
SUS22	0.67	0.55	0.37
SUS23	0.76	0.60	0.46
SKH 2	0.66	0.60	0.40

Note: 1. In this case all of the ingot sections are 400mm ϕ .

2. Disregarding the condition of plastic flow, we compared considering only temperature difference, Young's modulus and coefficient of thermal expansion; where all comparison values=value of various steels/value of SUJ 2 steel.

常温から 1000°C における弾性率について、炭素鋼、合金鋼および高合金鋼のうち 10 種類を選び、静的測定を行なった。弾性率の温度変化は、すべての鋼種について大体同様な傾向を示し、400°C 付近まで直線的に減少し、約 500°C ~ 600°C 付近で曲線的に下降することがわかった。また、鋼の種類による変化はあまり大きくおなく、いわゆる組織不感性で、成分および熱処理などによる多少の差はほとんど影響されず、大きなグループに分けた鋼種間に多少の影響があることがわかった。そしてこれらの値が加熱時に発生する応力計算に十分に使用できることを確かめた。

(2) 熱膨脹率の測定について

常温から 1000°C における熱膨脹率について、13 鋼種を選んで測定した。同鋼種における熱処理の影響は、焼入れ組織を除き、その相違は認められなかった。しかし成分による影響は相当に大きく、とくに変態完了後いわゆる完全にオーステナイト組織となつたときの熱膨脹率は、明らかに炭素含有量の高いもの程増加し、過共析成分のものが最大となることがわかった。

(3) 熱応力の発生割合について

熱応力亀裂で問題となる変態完了時の応力発生を比較した。熱応力は弾性率と熱膨脹率の相乗積に比例するものであるから、いろいろな鋼種について比較し、なお、その鋼塊の熱伝導から温度差の発生割合を考慮に入れ、この両者の総合した値から変態完了時に発生する熱応力を比較した。

この結果、高炭素鋼ほど熱応力の発生が大きく、SUJ 2, 3, SK 2, SK 5 …… の順に小さくなり、実際に低炭素鋼々塊では熱応力亀裂が発生しない条件でも、高炭素鋼々塊では容易に発生する事情を十分に説明することができた。

文 献

- 1) 原 隆啓: 鉄と鋼, 49 (1963) p. 1669~1675
- 2) 原 隆啓: 鉄と鋼, 49 (1963) p. 1765~1772
- 3) G. G. SHERRATT, et al: Iron & Steel Inst. (U.K.), (1939) Spec. Rep. No. 24, p. 237~241
- 4) G. G. SHERRATT, et al: J. Iron Steel Inst. (U.K.), 2 (1946), p. 96~98
- 5) F. GAROFALO: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 27 (1960), p. 867~872
- 6) A. KRISCH: Stahl u. Eisen, 73 (1953), p. 1349~1355
- 7) 金属便覧: 丸善, 昭和 27 年, p. 217
- 8) J. F. SMITH, et al: J. Metals, 9 (1957), p. 1212~1213