

- 7) 内山道良, 上正原和典: 鉄と鋼 41 (昭30) 8, 13
8) 内山道良, 上正原和典: 鉄と鋼 41 (昭30) 10, 21

- 9) 川田雄一: 日本機械学会誌 55 (1952) 406, 12

Timken 16-25-6 の高温機械的性質に関する研究 (III)*

長谷川太郎**・落合 治**・稲生 順一**

STUDIES ON MECHANICAL PROPERTIES AT ELEVATED TEMPERATURE OF Timken 16-25-6 (III)

Taro Hasegawa, Osamu Ochiai, and Junichi Ino

Synopsis:

Authors studied the effect of reduction of the hot-cold working on creep rupture properties at 650°C, 31.5kg/mm². The results are as follows:

1. It was observed by macroetching the transverse section of the specimen that hot-cold-worked specimen was not worked uniformly in its section. When it is finished in square section by hot-cold working, severely stressed portion disperses in diagonal line. When it is finished in round section, severely stressed portion concentrates in the center. The reduction of working of the specimen differs fairly with the location in the square section from which specimen is taken. So, a round bar is used to study the effects of the reduction of hot-cold working.

2. Creep resistance increases by the reduction of working to the critical value, but exceeding this limit it decreases. This critical value of the reduction of working is dependent on the working temperature and the pre-treatment of hot-cold working.

3. Three specimens were picked from the different locations in a section of 40mm square bar which was hot-cold worked. Creep characteristics of the specimens differs owing to their location where they are taken.

I. 緒 言

前報において Timken 16-25-6 の高温機械的性質におよぼす H. C. W. の加工温度及び加工度の影響につきのべた。前報の実験では H. C. W. の加工温度を上昇すればクリープ抵抗、高温引張強度は減少し、韌性は増加することを明らかにできたが、加工度の影響は明らかでなかつた。ところで前報の実験に供した 15mm 手 素材の横断面を調査するとつぎにのべるごとく必ずしも均一な加工を受けていないことが認められたので、今回は丸材に H. C. W. した試料について前報同様の実験を試みるとともに角材に H. C. W. した大型素材各部の高温機

械的性質を調査した。

II. 供試材および実験法

H. C. W. の加工条件の影響をしらべる試料は前報と同一溶解のものを使用し、大型素材は別の溶解のものを使用した。各々の化学成分は Table 1 のもので何れも標準成分の Timken 材である。

(1) 小型試験材製造法

鍛錬比 5 以上の 30mm 手 素材を 20mmφ に鍛伸しこれを長さ 120mm に切断した素材 9 個を用いた。この中 3 個は鍛造のまま、残 6 個は 1150°C×1h 水冷の固溶化処理後爾後の H. C. W. を施した。H. C. W. 前に

Table 1. Chemical composition of tested material.

Symbol	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Form of forged bar
T 8	0.07	0.65	1.82	0.014	0.024	15.92	24.88	6.72	0.150	20mmφ forged bar
T 11	0.05	0.61	0.61	0.013	0.032	15.79	25.48	5.95	0.092	40mm 手 forged bar

* 昭和 30 年 10 月 2 日秋期本会講演大会にて発表 ** 住友金属工業 K. K. 製鋼所

目的の加工度に対応して素材を 16, 17, 18mm ϕ に機械仕上し, 加工温度は 700, 800°C とし各々の加熱温度に 3h 保持後 15mm ϕ タップにより H. C. W. を行つた. 以上の加工法により H. C. W. 前の素材機械仕上寸法に応じ加工度はそれぞれ 10, 20, 30% となるのでこれより試験片を採取した.

(2) 大型素材製造法

50kg 鋼塊を 50mm ϕ に鍛伸後, 700°C にて 35% の H. C. W. を行つた 40mm ϕ 素材 (鍛錬比約 5) を使用した.

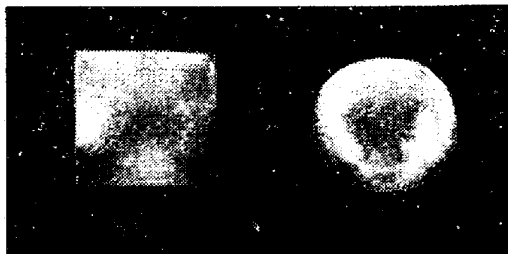
以上の試験材は H. C. W. 後は何れも 650°C \times 6h 空冷の応力除去焼鈍を施した.

(3) 試験法

各試験材は硬度, 顕微鏡組織をしらべた後 650°C, 31.5 kg/mm² の試験条件でクリーブ破断試験を行い加工条件の機械的性質におよぼす影響をしらべた. クリーブ破断試験は前報と同様の方法で行つた.

III. 丸材および角材に H. C. W. した 素材の組織

Fig. 1 に前報に使用した 15mm ϕ 試験材と今回製作した 15mm ϕ 試験材の横断面のマクロ組織を示す.



T85 T817
1150°C \times 1h W.Q. 1150°C \times 1h W.Q.
700°C 25% H.C.W. 700°C 32% H.C.W.

Fig. 1. Transverse section of hot-cold-worked specimen, etched with aqua regia.

写真で明らかなごとく角材では対角線に沿つて腐蝕をうけやすい部分があり, 丸材では同様の部分が中央部に集中している. 腐蝕をうけやすい部分は歪の多い部分と考えられ, しかからざる部分と比較すれば加工条件が相違しており同一試験材の断面で均一な加工をうけていないことが認められる. 筆者は H. C. W. の加工度としては H. C. W. 前後の断面縮少率で表わしているが, これは平均加工度である故, 素材断面の加工度が一樣でない条件では, 試料の採取位置によつては平均加工度は真の加工度と必ずしも一致できず, 試験材よりの試料採取法によつては加工度の影響を明らかにできぬことになる. 前報

に使用した角材に比し丸材では歪の多い部分が集中して広範囲となるので, 試験片採取に際し角材の場合より加工度と機械的性質の関係を見出すには好都合となる.

IV. H. C. W. の加工条件の影響 (15mm ϕ 試験材についての実験)

(1) 硬度

Table 2 にクリーブ破断試験結果とともに各試験片の硬度を, また Fig. 2 に加工温度, 加工度と硬度の関係を示す. 加工条件と硬度との関係はつぎの諸点が認められた.

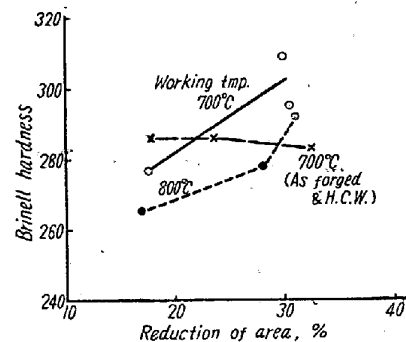


Fig. 2. Effect of reduction of work on hardness.

1. H. C. W. 前の固溶化処理の有無は H. C. W. 後応力除去焼鈍後の硬度には著しい影響を与えない. H. C. W. の加工温度が高くなれば硬度は低下し, また H. C. W. 後の応力除去焼鈍により硬度は低下し, 加工温度が低いほどこの低下は著しいこと等すべて前報と同様の結果を示している. ただし同一加工条件のものを比較すると本実験の場合はやや低い硬度を示している.

2. 前報では H. C. W. の加工度とともに硬度は上昇したが, 本報では固溶化処理を行わず H. C. W. したときの応力除去焼鈍後の硬度は加工度によつては大差ない. 固溶化処理後 H. C. W. した時は加工度とともに硬化している. 前者の場合は H. C. W. 前の硬度 (鍛造温度, 加工度に支配されると考えられる.) が必ずしも一定でないのかかる結果をもたらしたものであろう.

(2) クリーブ破断試験結果

15mm ϕ 素材より採取した試料により H. C. W. の加工条件のクリーブ破断試験結果におよぼす影響を Table 2 および Fig. 3 より観察するとつぎの諸点が認められる.

1. 固溶化処理を行わず H. C. W. を施した場合加工度の増加にともなつてクリーブ破断時間は長くなり, クリーブ速度は減少する. これに反しクリーブ破断後の伸

Table 2. Result of creep rupture test at 650°C, 31.5 kg/mm².

Symbol of specimen	Heat treatment			Brinell hardness			Creep rupture test				Hardness of creep test specimen	
	Solution treatment	Working temperature (°C)	Reduction of working (%)	After solution treatment	After H.C.W.	After stress relieving	Rupture time (h)	Elongation at rupture (%)	Creep rate (%/h)	Reduction of area (%)	Before test (Rc)	After test (Rc)
T812	As forged	700	18	—	313	286	95.9	29.8	0.043	35.5	33	25
T813	"	"	24	—	311	286	228.4	14.0	0.033	15.0	33	36
T814	"	"	35	—	319	283	412.2	5.7	0.009	7.7	33	37
T815	1150°C×1h-W.Q.	700	18	164	265	277	222.9	8.2	0.020	21.0	33	34
T816	"	"	30	167	313	309	321.3	5.0	0.007	13.8	34	36
T817	"	"	32	169	321	295	235.8	4.7	0.013	13.5	34	33
T818	"	800	16	166	298	266	128.1	6.0	0.028	15.0	29	29
T819	"	"	28	166	311	278	234.5	7.7	0.018	19.5	32	34
T820	"	"	31	170	313	292	180.2	14.8	0.011	30.5	34	25
T11.5B	As forged	700	35	—	Rc 24.0	Rc 24.9	145.2	39.2	0.041	48.8	23.1	19.8
T11.6A	"	"	"	—	Rc 21.3	Rc 12.6	178.3	36.8	0.034	42.9	20.4	18.4
T11.7B	"	"	"	—	Rc 22.6	Rc 23.0	204.8	41.0	0.043	51.0	22.4	18.7

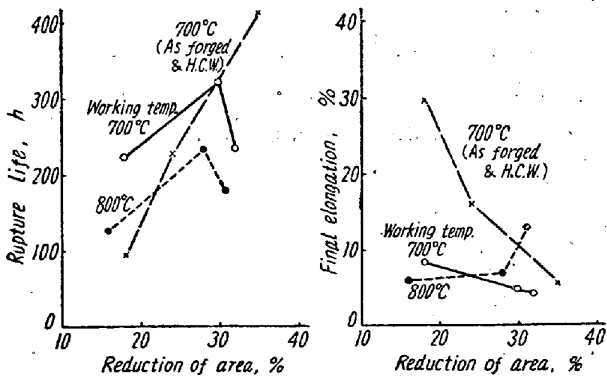


Fig. 3. Effect of reduction of work on creep rupture life and elongation at 650°C, 31.5 kg/mm².

絞は加工度の増加とともに減少している。前報の実験では加工度の増加によりクリープ抵抗および靱性ともに減少したと全然異つた傾向を示す。また類似加工条件の試料につき比較すると硬度では大差ないが、本実験の場合はクリープ破断時間は著しく長い。これらの相異は H.C.W. 前の状態が鍛造条件により左右されるので、同一条件のものとは考えられないことに帰せられよう。

2. 固溶化処理後 700 および 800°C にて H.C.W. を行つたとき同一加工条件の固溶化処理を行わず H.C.W. した試料よりクリープ抵抗が増加し、クリープ靱性が低下すること、および加工温度の上昇によりクリープ抵抗が減少し、クリープ靱性が向上することは前報と同様の傾向を示す。

3. 固溶化処理後 H.C.W. を行つた時加工度の増加につれてクリープ抵抗が増大し、最高値を示す加工度が

あり、これ以上の加工度ではクリープ破断時間は減少している。

H. C. W. の加工度のクリープ特性におよぼす影響に関して Zshokke¹⁾ 等の 18% Cr-9% Ni-1% W-0.7% Ti 鋼に関する実験がある。

彼によれば Fig. 4 のごとく加工度の増加につれてクリープ抵抗の最高点を示す加工度があり、この加工度以上ではかえつてクリープ抵抗は減少している。また H. A. Vogels²⁾ は 16% Cr-13% Ni-2% Mo-0.8% Nb 鋼について同様の傾向を示しており、加工度がある程度以上大きくなれば再結晶温度が低下することによりクリープ抵抗は減少すると説明している。筆者らの実験においても固溶化処理後 H.C.W. を行つた時同様な傾向を示している。固溶化処理を行わず

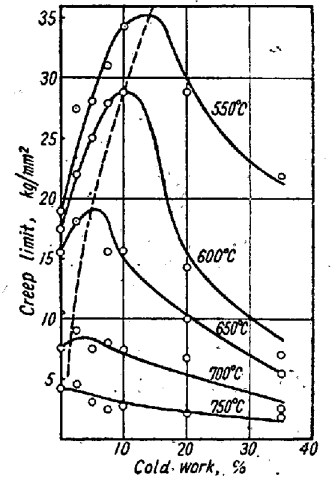


Fig. 4. Effect of reduction of work and working temperature on creep limit. (by H.R. Zschokke, et al.)

H.C.W. したときは前述のごとく H.C.W. 前の状態が一定でないためか如上のごとき傾向はみられなかつた。

4. Fig. 5~7 に代表的な加工条件の試料の顕微鏡組織を示す。固溶化処理を行わず H.C.W. した場合は鍛

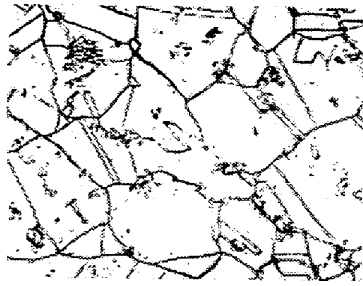


Fig. 5. T813 ×500(1/2)

As forged, 700°C 24% H.C.W., 650°C×6h-A.C.

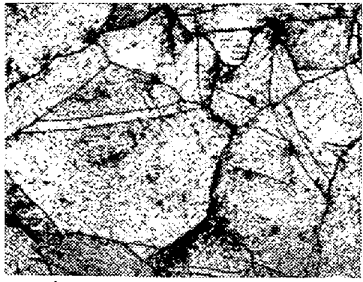


Fig. 6. T816 ×500(1/2)

1150°C×1h-W.Q., 700°C 30% H.C.W., 650°C×6h-A.C.



Fig. 7. T819 ×500(1/2)

1150°C×1h.-W.Q., 800°C 28% H.C.W., 650°C×6h.-A.C.

造後に残留した粗粒析出物が凝集しており、H.C.W. およびその後の応力除去焼鈍による微粒析出物は少ない。したがってクリープ破断試験中の析出も少なくクリープ抵抗が小でクリープ靱性は大きくなることは前報同様に考えられる。

加工温度が高くなると析出物が多くなることも前報同様である。固溶化処理後 H.C.W. したとき加工度が大きくなれば粒界析出がやや多くなるが、顕微鏡組織的に一定加工度以上の場合クリープ破断時間が短くなる原因は明らかにできなかった。

V. 大型素材横断面各部の機械的性質 (40mmφ 素材についての実験)

(1) 硬度分布

Fig. 8 に試験素材の H.C.W. 後および応力除去焼鈍後の断面硬度分布を示す。H.C.W. 後は Rc 21~28 の

221 205 236 210 219 225 215	211 231 233 230 234 225 204
247 259 221 208 235 242 262	239 249 239 245 237 245 249
250 243 240 232 244 205 231	238 256 249 254 232 226 239
223 249 250 215 232 208 226	240 256 251 250 234 243 216
227 215 243 232 226 235 225	225 250 247 250 230 228 226
237 225 231 229 231 220 213	221 248 240 259 216 233 205
247 237 233 221 212 205 230	234 243 233 236 211 212 205

a. After H.C.W.

b. After stress relief

Fig. 8. Distribution of Rockwell c scale hardness on 40mmφ section. As forged and hot-cold worked at 700°C, then stress relieved at 650°C

硬度であるが、応力除去焼鈍後は1箇所 Rc 12 のとくに低い部分を除くと Rc 21~26 となり概して硬度の高低が少くなる。何れにしても中心部の硬度は高くなりこの部分の歪が大きいたことが想像される。また断面硬度は従来の小型試験より著しく低いことは注目に値する。

(2) クリープ破断試験結果

Fig. 9 に示す3ヶ所より採取した試料のクリープ破断試験結果を Table 2 に示す。Fig. 9 に3個の試料のクリープ曲線を図示する。本実験結果よりつぎのことが観察された。

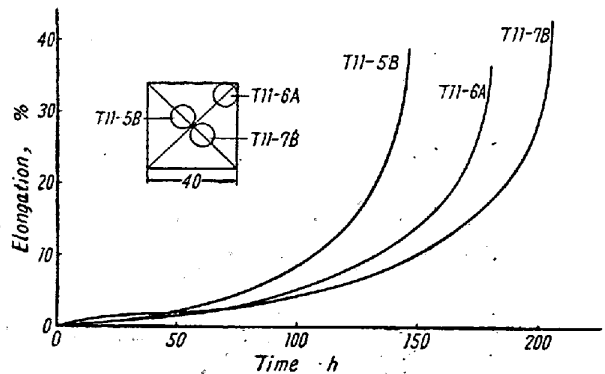


Fig. 9. Creep curve of specimens at different location of the same section.

1. 前報および本報の小型試料に比べると類似のクリープ破断時間に対するクリープ靱性が著しく大で、クリープ速度は類似加工条件の小型試料に比し大差ない値を示し、使用条件に対しては最も望ましい成績となっている。

2. クリープ破断試験前後の硬度は小型試料に比し著しく低く、また試験中の硬度低下も大きい。クリープ抵抗はさして下つていないことより、本試料の高温強度はほとんど加工硬化により得たもので析出硬化にあづかる所は僅かなることが推察される。

3. 中心部の硬度の高い部分は必ずしもクリープ抵抗

は大ではなく、中心部より採取した2個の中 T11-7B はクリープ破断時間は最も長いが他の T11-5B は最も短い。また隅角部の低い硬度の T11-6A は上の両者の中間のクリープ破断時間を示す。

4. Fig. 10~12 に示す顕微鏡組織によればクリープ破断試験前には中心、外周部の相異はほとんどないが、T11-5B のみは外周隅角部試験片より析出物の凝集がやや著しい。しかるにクリープ破断試験後では中心部の試料は層状の析出物が多い。とくにクリープ破断時間の長い T11-7B は析出物が多い。何れにしても試験中の析出は類似加工条件の小型試料に比し著しく少いことが目立つ。H.C.W. 前にはほとんど安定状態にあつたため、かかる現象を呈し、このためクリープ靱性が著しく大きかつたものと考えられる。

5. 本実験より試験片採取位置によりクリープ破断時間がかかなりばらつくことおよびその原因は中心部の偏析にも起因することが推察された。

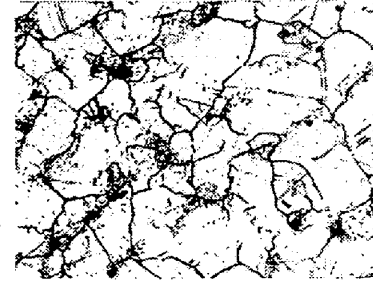
VI. 結 論

Timken 材の H.C.W. の加工条件の高温クリープ破断特性および硬度、顕微鏡組織におよぼす影響を15mm ϕ および 40mm 寸 試験材について調査してつぎの結論を得た。

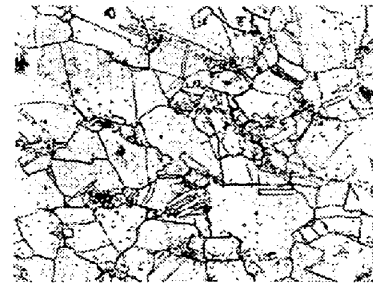
1. H.C.W. を施した素材は全断面にわたり一様な加工を受けていないことは明らかで、とくに角材に H.C.

W. したときは加工歪の大きい部分が対角線上に生ずるため試験片採取法により機械的性質はばらつく。したがって加工度の影響をみるには丸材を使用する方がよい。

2. 一定加工温度においては H.C.W. の加工度が大きくなればクリープ抵抗は増大し、最高点を示す加工度がありそれ以上の加工度ではかえってクリープ抵抗は減少



a. Before creep test

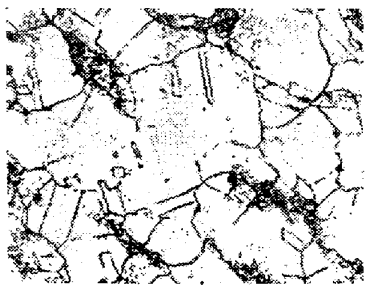


After creep test

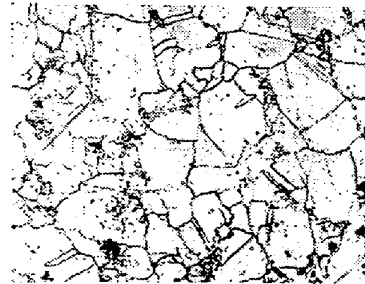
Rupture life: 178 \cdot 3h

Elongation: 37%

Fig. 11. T11-6A $\times 500(1/2)$
As forged, 700°C 35% H.C.W., 650°C \times 6h-A.C.



a. Before creep test

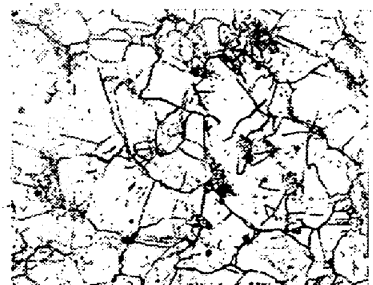


b. After creep test

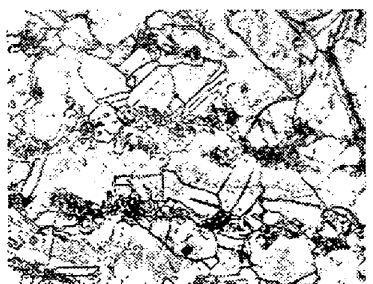
Rupture life: 145 \cdot 2h

Elongation: 39%

Fig. 10. T11-5B $\times 500(1/2)$
As forged, 700°C 35% H.C.W., 650°C \times 6h-A.C.



a. Before creep test



b. After creep test

Rupture life: 204 \cdot 8h

Elongation: 41%

Fig. 12. T11-7B $\times 500(1/2)$
As forged, 700°C 35% H.C.W., 650°C \times 6h-A.C.

する。最高クリープ抵抗を与える加工度は加工温度および H.C.W. 前の処理に影響される。

3. H.C.W. 前の固溶化処理および加工温度の影響は前報と全く同様で、固溶化処理によりクリープ抵抗は増加し、クリープ靱性は低下する。また加工温度700°Cより800°Cの場合の方がクリープ抵抗は減少し、靱性は増加する。

4. H.C.W. 後の硬度とクリープ特性の関聯を見出すことは全く困難で、硬度差の大きかった40mmφ素材と15mmφ素材のクリープ抵抗は低硬度のもの必ずしも小でなく、また40mmφ素材の同一断面各部から採取した試料のクリープ特性も硬度とは無関係である。

5. 以上の実験により Timken 材の H.C.W. の加工条件としては固溶化処理を行わず700°Cにて20%前後の加工を行うことが望ましいこと。また H.C.W. 前に析出を多くしておいて安定状態のときは H.C.W. 後高温における使用中の析出が少くなり、クリープ靱性は大となることがわかる。(昭和31年3月寄稿)

文 献

- 1) H. R. Zschokke & K. H. Niehus: Journal of the Iron & Steel Inst., June 1947
- 2) H. A. Vogels: Stahl und Eisen 75 (1955) Nr 9, 5 Mai

新し く き ま っ た JIS

鉄 鋼 関 係

G3H11	再生鋼材	新 規
G3440	構造用炭素鋼鋼管	〃
G3441	構造用合金鋼鋼管	〃
G4404	合金工具鋼	〃
G4401	炭素工具鋼	改 正
G4403	高速度鋼	〃