

第一庄延課，第二庄延課，技術課関係各位に感謝の意を表するしだいであります。(昭和 35 年 5 月寄稿)

文 献

- 1) 森島：鉄と鋼，43 (1957)，3，p. 256
- 森島：鉄と鋼，44 (1958)，3，p. 392

- 森島：鉄と鋼，44 (1958)，9，p. 998
- 2) K. BORN : Stahl u. Eisen., 76 (1956), Nr. 13, s. 789
- 3) A. PREECE et al: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 149 (1944) No.1, p. 253

軟鋼の歪時効にともなう遷移温度の変化について*

(シャルピー衝撃試験における荷重—時間曲線の研究—II)

作井誠太**・中村正久***・大森正信***

On the Transition Temperature of Strain-Aged Mild Steels.

(Studies of load-time relations by Charpy impact tests—II)

Seita Sakui, Tadahisa Nakamura and Masanobu Ohmori.

Synopsis:

Under the impact bending load, an investigation was made on the change of the transition temperatures and fracture modes of the strained and strain-aged specimens, which were of a low-carbon killed steel containing 0.17%C. In this experiment, as described in the previous paper (Tetsu-to-Hagané, Vol. 46 (1960) p. 140), a miniature Charpy impact testing machine, being of 2 kg-m capacity, was used and the load acting on the specimen was measured by the use of piezo-electricity of quartz crystals and a cathode-ray oscillograph.

The specimens were stretched by 3% and 10%, in static tension after the annealing at 920°C for 1 hour in vacuum. They were strain-aged at room temperature, 100°C and 200°C for various durations.

A new transition temperature, which was the highest testing temperature at which the marked propagation of a crack appeared, was defined in the previous paper. This transition temperature was very sensitive to the internal structures of the specimens. This definition was used also in this report.

The results in this investigation were summarized as follows:

(1) The strain-aging for 3 to 100 days at room temperature after the stretching of 3% and 10% did not change the transition temperature showing 25°C. The transition temperature for the 3%-stretched specimen aged at 100°C for 120 minutes and that for the 10%-stretched one aged at 100°C for 60 minutes remained to be 25°C. On the other hand, both the 3%-stretched specimen aged at 200°C for 60 minutes and the 10%-stretched one aged at 100°C for 120 minutes had the transition temperature of 40°C, which was 15°C higher than that for the other specimens.

(2) The absorbed energy vs. testing temperature curves for the specimens stretched 10%, and for the strain-aged ones were not decreased gradually with the testing temperature but decreased abruptly at two temperatures and there appeared a horizontal part, where the load-time curve of type III was recorded. This phenomenon, however, was not observed so much clearly with the 3%-stretched specimens and with the strain-aged ones.

(3) The more cold-worked the specimen was, the more steeply decreased the load acting on the specimen after the maximum load was reached.

The brittleness introduced by the cold working seemed to be different from that introduced by the quench-aging and strain-aging. The aging raised the transition temperature but the cold working did not raise it.

* 昭和 35 年 4 月本会講演大会にて講演 ** 東京工業大学，工博 *** 東京工業大学

(4) With all specimens tested, the maximum load v.s. testing temperature curve had a maximum value in a testing temperature range, where the loadtime curve of type II was recorded.

I. 緒 言

軟鋼はいろいろの塑性加工をうけた状態で構造物などとして使用されることが少なくない。かかる状態の軟鋼が衝撃力をうける場合脆性破壊の起りやすいことが知られている。したがって塑性変形の有無、歪時効の進行により軟鋼の遷移温度がどのように変化するかを正確に知ることにはきわめて有意義である。実際にみられる塑性加工は一般に単純なものでなく引張り、圧縮、曲げ、振りなどのいくつかが重り合った複雑なものであるが本実験では単純な静的引張り歪を与えた場合のみを研究対象にしたが異なった塑性変形をうけている軟鋼の衝撃性質を知るためにはそれに相当した変形を与えた試片について研究を進めなければならないことは当然である。

第1報¹⁾においては試片の破断過程中顕著なクラックが発生、伝播してのち停止し、それ以後延性破壊するような破壊様式のみられる最高試験温度を遷移温度と定義した。従来採用されている平均エネルギー遷移温度、もしくはせん断破面率遷移温度などにくらべてあらたに定義したこの遷移温度は明確な物理的意味をもっておりかつ試片の内部組織の変化、たとえば微小な炭化物などの析出粒子の存在などにきわめて敏感であることが確められた。本報告は引張り変形をうけた試片およびそれを歪時効せしめた試片の破壊様式と遷移温度などがどのように変わるかを衝撃時に得られる荷重—時間曲線にもとづいて研究したものである。

II. 実験方法

使用したシャルピー衝撃試験機は容量 2 kg-m の小型試験機で試片は円柱状のものをういその化学組成は Table 1 に示したような低炭素のキルド鋼である。衝撃荷重の検出は水晶により行なつた。水晶は打撃刃の後方に挟み衝撃力によつて生ずる圧電電を増巾なしに直接陰極線オシログラフに導びいた。以上はすべて前報¹⁾のべたとおりである。

試片は 13 mm ϕ まで熱間圧延したのち 5.5 mm ϕ ま

Table 1. Chemical composition of the specimen. (in wt. %)

C	Si	Mn	P	S
0.17	0.21	0.44	0.011	0.025

で冷間引抜きし 5 ± 0.01 mm ϕ までグラインダー仕上げを行なつた。これを真空中で 920°C, 1 時間焼鈍してからつぎに示す処理をほどこして試験した。

(1) 3% の引張り歪を与えたもの

(i) 変形直後

(ii) 常温時効: 3, 8, 25, 50, 100 日間

(iii) 100°C 時効: 120 分間

(iv) 200°C 時効: 60 分間

(2) 10% の引張り歪を与えたもの

(i) 変形直後

(ii) 常温時効: 3, 8, 25, 50, 100 日間

(iii) 100°C 時効: 60, 120 分間

試片は引張り歪を

うけたためその外径

は 5 ± 0.01 mm ϕ より

わずか小さくなり

3% 歪をうけた場合

約 4.90 mm ϕ , 10

% 歪をうけた場合約 4.75

mm ϕ になつたが切欠底部

の直径および切欠先端半径

はそれぞれ 4 ± 0.01 mm ϕ

および 0.1 mm に一定にし

た。試片の形状を Fig. 1 に

示す。3% および 10% 歪はそれぞれこの試片の降伏点の終了、最大荷重に対応する歪である。すべての試験温度域にわたつて得られる荷重—時間曲線は前報¹⁾のべたとく Fig. 2 に示した I ~ V の型式に分類でき IV 型の曲線が得られる最高試験温度を遷移温度と定義した。

III. 実験結果

(1) 3% 引張り歪を与えた試片についての結果

歪を与えた直後、歪を与えてから常温で 3, 8, 25, 50 および 100 日間時効させたのち試験して得られた結果を Fig. 3(a ~ f) に示した。Fig. 4(a ~ b) には歪を与えてから 100°C に 120 分および 200°C に 60 分保持したのち試験して得られた結果を示した。図中の I ~ V の記号はその試験で得られた荷重—時間曲線の型式を示すものであり矢印は前述の定義による遷移温度である。Table 2 に平均エネルギー遷移温度とともに遷移温度を表示した。Photo. 1 には遷移温度近傍の試験温度

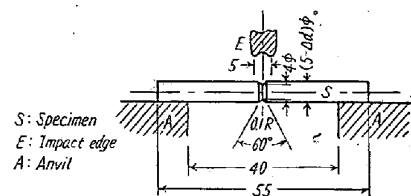


Fig. 1. Test specimen.

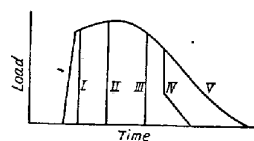


Fig. 2. Five types of load-time curves.

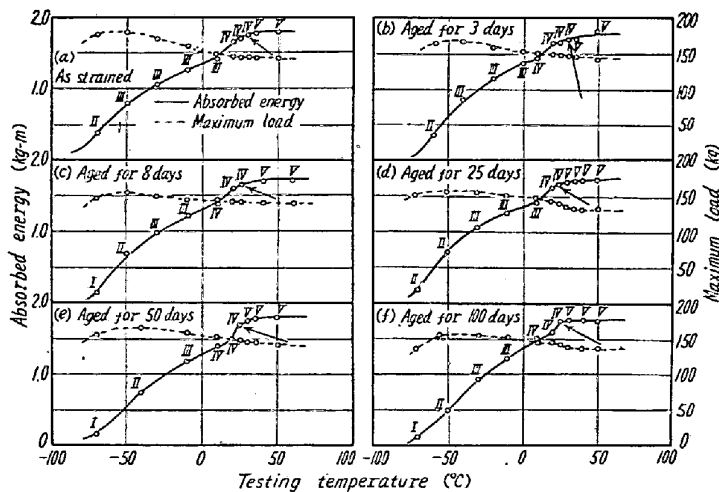


Fig. 3. Results with the test specimens strain-aged at room temperature after stretching 3% in static tension.

Arrows show transition temperatures.

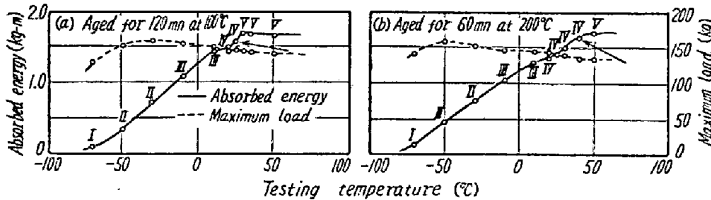


Fig. 4. Results with the test specimens strain-aged at 100° and 200°C after stretching 3% in static tension.

Arrows shows transition temperatures.

Table 2. Transition temperatures with the strain-aged specimens after stretching 3% in static tension.

Aging temp.	Aging time	Transition temperatures (°C)	
		Average absorbed energy	Max. temp. at which the marked crack appeared
Room temp.	As strained	-43°C	30°C
	3 days	-38 "	30 "
	8 "	-38 "	25 "
	25 "	-40 "	25 "
	50 "	-30 "	25 "
	100 "	-32 "	25 "
100°C	120 mn	-22 "	25 "
200°C	60 "	-25 "	40 "

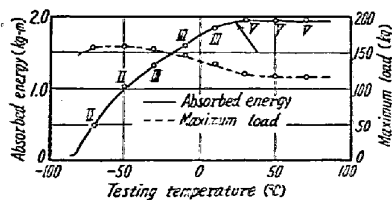


Fig. 5. Result with the specimen annealed at 920°C.

Arrow shows transition temperature.

で得られた荷重—時間曲線の例を示す。Fig. 5 には比較のため 920°C, 1 時間焼鈍せる試片についての結果を示した。遷移温度は歪を与えた直後、常温で 100 日まで歪時効をさせた試片ならびに 100°C 120 分の時効試片の場合にはほとんど変わらない。われわれの定義した遷移温度では約 25°C で 920°C 焼鈍試片の場合と同じである。200°C, 60 分の時効試片の遷移温度は 15°C 高温側に移り 40°C になった。

吸収エネルギー対温度曲線は Fig. 3, 4 のいずれの場合にも焼鈍試片で得られた Fig. 5 の曲線とちがつて単調に変化せず 20°C ~ 25°C の試験温度付近で急激な変化を示しそれ以下の温度域にやや勾配の小さい部分が現われている。20°C ~ 25°C の試験温度域はわれわれの定義した遷移温度域でⅡ型の荷重—時間曲線が得られる所であることは興味深い。最大吸収エネルギーはほぼ 1.75 kg-m で焼鈍試片の 2 kg-m に比しかなり減少している。最大荷重対温度曲線は 130 ~ 180 kg の間にありかつ -50°C 付近の試験温度で極大値を示している。この極大値のみられる試験温度で得られた荷重—時間曲線の型式はほとんどⅡ型の曲線であつた。

(2) 10%引張り歪を与えた試片についての結果
歪を与えた直後、およびそれらを常温に 3 ~ 100

日間放置して歪時効させた後得られた試験結果を Fig. 6(a ~ f) に、100°C で 60, 120 分同じく歪時効させた試片についての結果を Fig. 7(a ~ b) にそれぞれ示した。図中の諸記号の意味は前とまったく同じである。Fig. 7 b に -10°C 以下の試験温度に対する最大荷重と曲線の型が記入されていないのは荷重—時間曲線が記録できなかったためである。Table 3 に

遷移温度の変化を示した。同表中には平均エネルギー遷移温度も併記してある。Photo. 2 は遷移温度近傍で得られた荷重—時間曲線の二、三の例である。

歪を与えた直後の試片、3 ~ 100 日間の常温時効試片および 100°C 60 分時効試片ではいずれも一定の遷移温度約 25°C を示した。それに反して 100°C, 120 分時効せしめた試片の遷移温度は 40°C で、3% 歪を与えて 200°C, 60 分時効させた試片の場合と同じである。

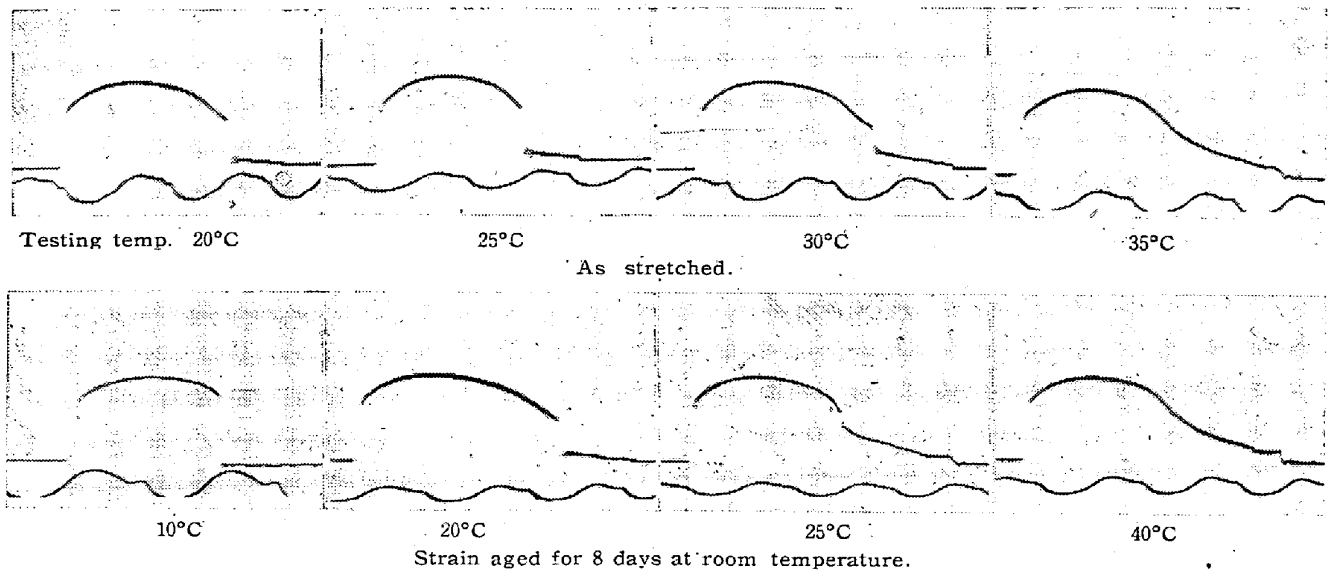


Photo. 1. Load-time curves for the specimens stretched 3% in static tension.
Time mark: 1/300 s.

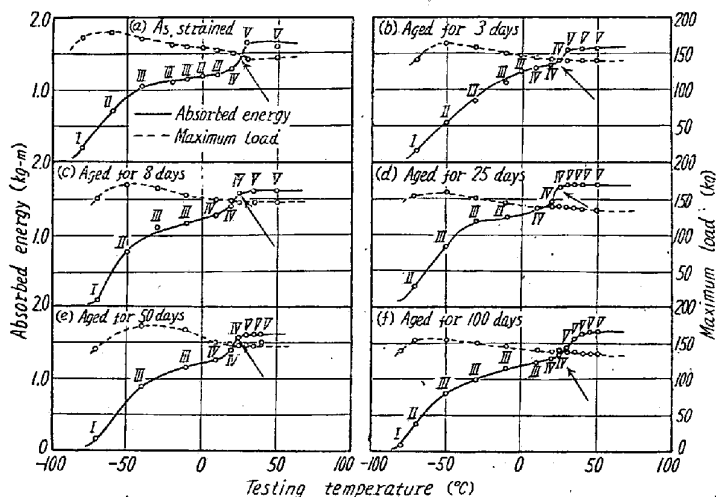


Fig. 6. Results with the test specimens strain-aged at room temperature after stretching 10% in static tension.

Arrows show transition temperatures.

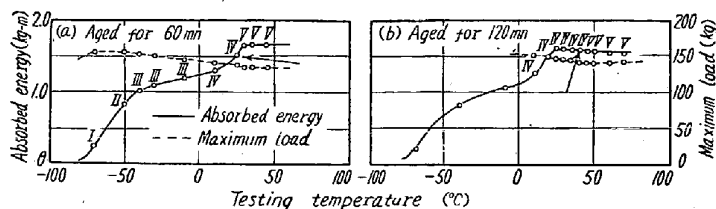


Fig. 7. Results with the test specimens strain-aged at 100°C after stretching 10% in static tension.
Arrows show transition temperatures.

吸収エネルギー対温度曲線はいちじるしい特徴を示しており二段の変化をはつきり示すようになっていることが認められ $-30^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ の試験温度範囲で水平に近い部分が現われている。このことは 3% 引張り歪を与

えた試片の試験にさいしてもすでに言及したごとくきわめてわずかながら認められていたもので加工度が増したために一層顕著になったと考えられる。このいわゆる延性遷移温度は前報にのべた冷間引抜きのままの試片、常温において焼入時効せしめた試片の場合にも観察された。この現象はかなりよく知られた事実であるがまだ十分な考察が進められていないように思われる。この場合にも 3% 歪を与えた試片の場合と同様 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 付近の試験温度で吸収エネルギー曲線の変化が顕著でかつそこで得られる荷重-時間曲線はⅣ型である。しかし 100°C 、120 分時効させた試片についての結果では吸収エネルギー曲線の降下部分のみならず吸収エネルギーが最大になった試験温度域でもなおⅣ型の荷重-時間曲線が得られている。このことは逆にいえば荷重-時間曲線によらず単に吸収エネルギー曲線のみからでは脆化の進んだことを知り得ないことを意味する。最大吸収エネルギーはいずれも約 1.6 kg-m で 3% 引張り歪試片の 1.75 kg-m に比べて小さい。冷間引抜き試片での最大吸収エネルギーが 0.8 kg-m であつたことから加工度が増すと最大吸収エネルギー値の低下することが知られるが、これだけの実験から加工度と最大吸収エネルギーの関係を定量化することはできない。

荷重-時間曲線の形は加工度が大きになると変つてくる。すなわち最大荷重に達してのちの荷重の降下は加工度の増大に伴つていじりしくなる。その様子を Photo. 3 に示した。

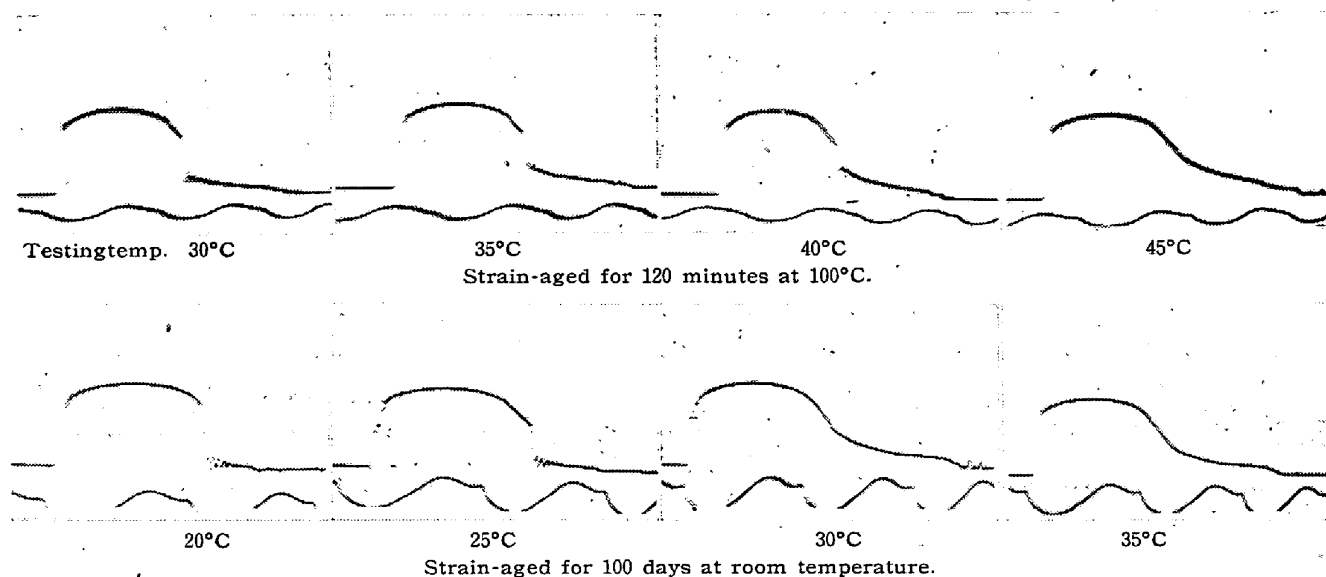


Photo. 2. Load-time curves for the specimens stretched 10% in static tension.
Time mark : 1/300 s.

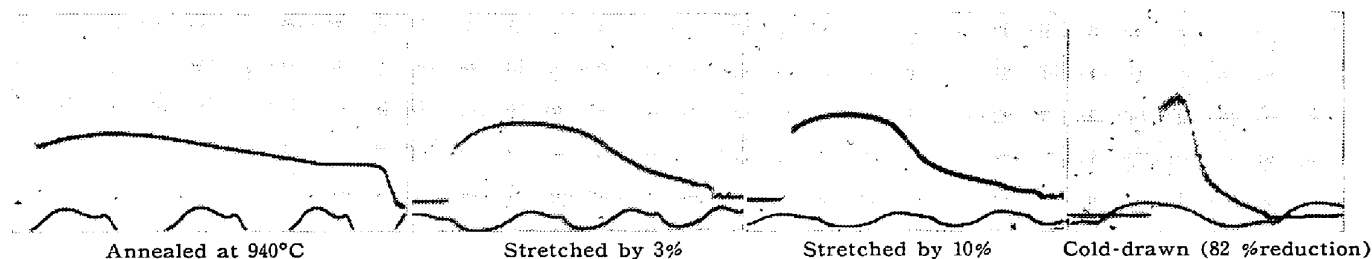


Photo. 3. The influence of the cold working on the form of load-time curves.
Time mark : 1/300 s.

Table 3. Transition temperatures with the strain-aged specimens after stretching 10% in static tension,

Aging temp.	Aging time	Transition temperatures (°C)	
		Average absorbed energy	Max. temp. at which the marked crack appeared
Room temp.	As strained	-52°C	25°C
	3 days	-35 "	20 "
	8 "	-48 "	25 "
	25 "	-50 "	25 "
	50 "	-45 "	25 "
	100 "	-48 "	25 "
100°C	60 mn	-52 "	25 "
	120 "	-40 "	40 "

IV. 考 察

(1) 加工試片が焼鈍試片に比べて脆化するという事は吸収エネルギーの大小、変形量の大小などを比較することによつて多くの場合判断されている。CRUSSARD²⁾らが指摘しているごとく脆化という語には吸収エネルギーが小であることのほか脆性破壊を示すということが含まれている。試片が異なれば吸収エネルギーが小である

からといつて必ずしも脆性破壊を示しているとは限らない。すなわちある状態で脆性破壊を示した試片の吸収エネルギーはほかの場合の延性破壊を示すときの吸収エネルギーより小であるとは限らない。

前報にのべた引抜加工試片は吸収エネルギーの低下がいちじるしいが-30°C以上の試験温度では試片の断面を一回で横切るようないちじるしいクラック

の伝播がみられずかかる場合V型の荷重-時間曲線が得られている。本実験においても加工直後の試片では一回だけのクラック伝播によつて破壊し去る試験温度は加工度が小さいときには焼鈍試片のそれに近くまた加工度が大きくなつた場合(10%加工度)も必ずしも上昇していない。このことについてはさらに系統的に実験する必要があると考えられる。要するに加工による脆化と時効による脆化とは区別して考えられなければならないであ

ろう。加工による脆化ということの内容は1回のクラックが試片断面全体を横切るような破壊を示す試験温度(遷移温度)を高めるのではない。試片は最大荷重に到達してのちクラックの伝播、停止、塑性変形の多くの繰返しによつて破壊すると考えられるから1回のクラック進行距離が加工度の増大に伴ない大きくなるということであろう。それに反して時効による脆化はいちじるしいクラックの伝播による破壊を起し易くすることである。従つて遷移温度は高くなる。

(2) 焼鈍試片の試験温度対吸収エネルギー曲線が遷移温度域で単調な変化を示したのに反して焼入常時時効試片と引抜加工試片の曲線では遷移温度域に明らかな水平部分がみられ二段の変化を示したことを前報で述べた。本実験でも明かにこの水平部分が観察されそれは加工度が増大するにしたがい顕著になる。この水平部分において焼入時効試片ではⅡ型、加工直後の試片およびそれを歪時効させた試片ではⅢ型の荷重—時間曲線がそれぞれ得られた。このように水平部分で得られる荷重—時間曲線の型が試片によりちがつていることは両者の水平部分の間に本質的な破壊様式の差異があることを示すものかどうかこの実験のみからでは明かでない。

(3) 3%, 10% いづれの加工度の試片とも常温の歪時効においてはこの実験の簡圈内では遷移温度の変化を認め得なかつた。また 3% 加工試片の 100°C, 120分および 10% 加工試片の 100°C, 60 分までの歪時効においても遷移温度の変化は同じく認められなかつた。3%加工試片の 200°C, 60分, 10% 加工試片の 100°C, 120 分以上の歪時効において遷移温度の上昇が明瞭になつている。前報の焼入時効の結果と比較するとき遷移温度におよぼす焼入時効と歪時効の影響は前者がはるかにいちじるしいことが知られる。

V. 総 括

小型シャルピー衝撃試験機の打撃刃に水晶の荷重検出子を設け陰極線オシログラフにより荷重—時間曲線を記録して軟鋼の遷移温度におよぼす 3% および 10% 引抜加工, ならびにそれらを歪時効せしめたさいの破壊様式の変化を観察しつぎのような結論を得た。

(1) 3%, 10% 歪を与えてのち常温で 3~100日間, 3% 歪を与えて 100°C, 120 分および 10% 歪を与えて 100°C, 60 分までの歪時効では遷移温度の上昇は認められなかつた。歪時効による遷移温度の変化は焼入時効のそれと比較すると小であつて 3% 加工後 200°C, 60 分歪時効および 10% 加工後 100°C, 120 分歪時効の場合遷移温度はそれぞれ 15°C の上昇を示した。

(2) 加工直後の試片およびそれらを歪時効させた試片の吸収エネルギー対試験温度曲線は遷移温度域において二段に変化して水平部分を示しそれは加工度の高いものほど顕著であつた。この水平部分で得られた荷重—時間曲線はⅢ型のそれであつた。

(3) 加工度が増すと荷重—時間曲線の形が変化し最大荷重に到達してのちの荷重の降下がいちじるしく吸収エネルギーは小となるが遷移温度すなわちⅣ型荷重—時間曲線の現われる最高試験温度は必ずしも上昇しない。

(4) 最大荷重対試験温度曲線はⅡ型の荷重—時間曲線が現われる試験温度域で極大値を示した。

文 献

- 1) 作井, 中村, 大森: 鉄と鋼, 46 (1960) 140
- 2) C. CRUSSARD, R. BORIONE, J. PLATEAU, Y. MORILLON and F. MARATRAY: J. Iron & Steel Inst.(U.K.), 183 (1956) 146

コンセルアーク溶解せる軸受鋼の材料性質*

(コンセルアーク溶解せる軸受鋼の諸性質—I)

高尾善一郎**・西原 守***・八木 芳郎***

Material Characteristics of Cons-el Arc Melted Bearing Steel.

(Properties of Cons-el Arc melted bearing steel—I)

Zenichiro Takao, Mamoru Nishihara and Yoshiro Yagi.

* 昭和 34 年 11 月本会講演大会にて講演 ** 株式会社神戸製鋼所神戸研究部 工博

*** 株式会社神戸製鋼所神戸研究部第一研究課