

つとも遅い。

終りに臨み、本研究遂行上御助力いただいた東北大学工学部助教授金子秀夫博士、ならびに日産自動車株式会社滝水敏佐氏に感謝する。

なお、本研究は文部省科学研究費による総合研究の一部であることを付記する。(昭和33年10月寄稿)

文 献

- 1) E. C. Bain, M. A. Grossmann, J.I.S.I., 110 (1924), 249
- 2) M. A. Grossmann, E. C. Bain, High Speed Steel, (1931), 169
- 3) A. Westgren, G. Phragmen, A.S.S.T., 13 (1928), 539
- 4) J. P. Gill, A.S.M., 24 (1936), 735
- 5) 武田: 金属の研究, 6 (1929), 509
- 6) 村上, 八田: 鉄と鋼, 21 (1935), 993
- 7) D. J. Blickwede, M. Cohen, J. Metals, 1 (1949), 578
- 8) D. J. Blickwede, M. Cohen, G. A. Roberts, A.S.M., 42 (1950), 1161
- 9) F. Kayser, M. Cohen, Metal Progress, 61 (1952), 79
- 10) H. J. Goldschmidt, J.I.S.I., 170 (1952), 189
- 11) K. Kuo, J.I.S.I., 174 (1953), 223
- 12) M. Cohen, P. K. Koh, A.S.M., 27 (1939), 1015
- 13) B. S. Lement, M. Cohen, A.S.M., 30 (1942) 1021
- 14) 佐藤, 西沢, 大橋: 日本金属学会誌, 21 (1957), 662
- 15) 佐藤, 本田, 西沢: 鉄と鋼, 42(1956), 1118
- 16) 佐藤, 西沢, 村井: 鉄と鋼, 44 (1958), 565
- 17) 佐藤, 西沢, 村井: 鉄と鋼に投稿中
- 18) 小柴, 木村: 鉄と鋼, 44 (1958), No. 3, 9,

純鉄の衝撃引張試験*

作 井 誠 太**・大 森 正 信***

Behavior of Pure Iron under Impact Tensile Loading.

Seita Sakui, Dr. Eng., and Masanobu Omori.

Synopsis:

The behavior of pure iron under impact tensile loading was studied with two kinds of pure irons and a commercial low carbon steel. One half of specimens were annealed in vacuum at 600, 700, 800, 850, 920 and 1000°C for 1 hour and the others were quenched in oil after keeping them at these temperatures for 1 hour in vacuum.

At the impact tensile test, in which the specimen was loaded by the hammer, falling by gravity and weighing 25kg, the load acting on the specimen was measured by the use of piezoelectricity of quartz crystals and the cathode ray oscillograph. X-direction of the oscillograph was fed by piezoelectricity, Y-axis corresponded to time axis. There was no electronic circuit between quartz and a deflection plate of the oscillograph and the load-time curve was directly recorded on the film inside the oscillograph. The strain rates at the impact tests were approximately 20~120 1/sec

The results obtained in this investigation were as follows.

- (1) The peak appeared in the load-time curve under impact test seemed to be upper yield point.
- (2) Yield stress and tensile strength were larger and total elongation was smaller than those under static test.
- (3) Increasing the strain rate, both yield stress and tensile strength increased and total elongation decreased slightly. The rate of increase of yield stress was greater than that of tensile strength.

* 昭和33年10月本会講演大会で発表 ** 東京工業大学教授 工博 *** 東京工業大学 工修

(4) The test specimens annealed at comparatively lower temperatures such as 600°C~700°C fractured in brittle manner even after the completion of recrystallization but this phenomenon was not observed under the statical test. It was supposed that thin phenomenon was due to the manner of distribution of cementite. Quenched specimens showed more ductile fracture.

I. 緒言

著者らは引張衝撃荷重下における金属の変形について一連の実験をおこなつて来たが¹²⁾、今回は純鉄について報告する。

鉄鋼の衝撃引張試験に関しては多くの研究があるが^{3)~12)}、純鉄について系統的に調査した例は少ない。

この種の研究は実用上も種種の意味があるが、また降伏点が衝撃荷重によつてどのように変化するか学問的にも興味が高い。

なお本実験で衝撃力の測定は水晶—熱陰極型陰極線オシログラフによつた。これは旧式であるが電子管による増巾器を全然用いずおそらく衝撃力の時間的変化を忠実に記録する最良の方法の一つであろう。

II. 実験装置および試料

試料は3種類で、電解鉄を真空熔解したもの (No. 1 試料); 同じ電解鉄を空气中熔解したもの (No. 2 試料); および市販極軟鋼 (No. 3 試料) である。入手したときこれら試料の加工度は不明であつた。試料の分析結果を Table 1 に示す。試料の形状はすべて針金で直径は No. 1, No. 2 試料で 1.0mm, No. 3 試料で 0.9mm, 標点距離は全部 65mm とした。熱処理は焼鈍および焼入れをおこなつた。3種の試料とも 600, 700, 800, 850, 920 および 1000°C の各温度に1時間保持した後焼鈍の場合は炉中冷却, 焼入れの場合は油焼入れをした。これはいずれも 10⁻⁴mmHg 程度の真空中でおこなつた。焼鈍試料の結晶粒度と焼鈍温度の関係を Fig. 1 に示した。

Table 1. Chemical composition of test specimens (in wt. %)

Specimens	Elements				
	C	S	P	O ₂	N ₂
No. 1	0.013	0.009	0.003	0.0017	0.001
No. 2	0.020	0.015	0.003	—	—
No. 3	0.078	0.038	0.009	—	—

装置は静的試験にさいして秤量 300kg のアムスラー型引張試験機を用いた。

衝撃引張試験は重量 25kg の落槌の自然落下を利用し

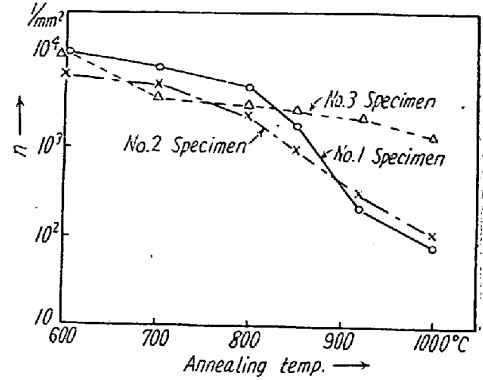


Fig. 1. Grain size.

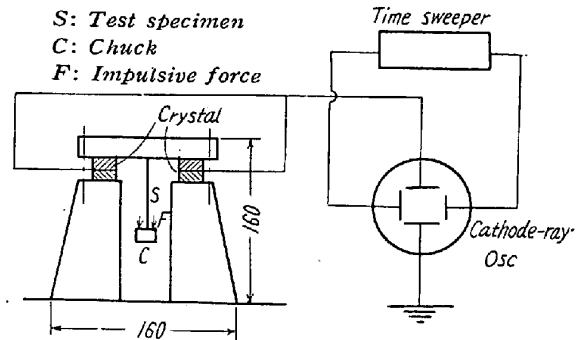


Fig. 2. Experimental arrangement for dynamic tensile test.

て試料を衝撃的に延伸した。荷重の測定は荷重を受けた水晶に生ずる圧電気を陰極線オシログラフに直接導びいておこなつた。それに直角の軸を時間掃引軸として荷重—時間曲線をオシログラフに内蔵したフィルム上に画かせた。この装置の概要を Fig. 2 に示す。試料に加わる荷重を測力系の水晶体にまで伝えるのにできる限り媒介体を少なくし媒介体の剛性を大にしその固有振動数も大きくしてあること。陰極線オシログラフは増巾などによる電氣的歪を持たないこと。水晶の寸法は大きくその固有振動数が高いこと。などの理由で急速に変化する荷重を忠実に記録出来ることがこの装置の特徴である。

本実験は常温でおこなつたものであり、約 20~120 1/sec の歪速度の下で上記3種の試料がどのような挙動を示すか荷重—時間曲線に基いて研究し静的試験結果と比較してその動的挙動の特質を観察した。

III. 実験結果および考察

静的引張試験結果を Table 2, 3 にそれぞれ焼鈍試

Table 2. Results of static tensile tests of annealed test specimens.

Annealing temp. °C	Specimens	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %	Annealing temp. °C	Specimens	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %
600	No.1	30.8	—	34.8	850	No.1	29.4	16.6	27.1
	No.2	27.6	—	41.7		No.2	26.4	20.1	36.9
	No.3	41.0	—	29.6		No.3	37.1	27.8	31.0
700	No.1	29.1	—	35.7	920	No.1	29.0	12.6	18.0
	No.2	26.6	—	38.0		No.2	23.8	12.5	30.3
	No.3	37.8	29.9	30.0		No.3	37.1	26.3	27.9
800	No.1	29.3	17.5	29.2	1000	No.1	23.6	10.3	27.3
	No.2	26.8	—	35.1		No.2	23.9	12.6	29.5
	No.3	37.9	30.0	29.0		No.3	36.2	25.1	25.9

Table 3. Results of static tensile tests of quenched test specimens.

Quenching temp. °C	Specimens	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %	Quenching temp. °C	Specimens	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %
600	No.1	32.5	—	31.4	850	No.1	38.2	—	11.4
	No.2	31.2	—	32.3		No.2	36.9	—	6.5
	No.3	42.6	—	22.3		No.3	47.1	—	12.6
700	No.1	36.3	24.0	17.7	920	No.1	37.8	—	14.0
	No.2	34.6	25.2	24.5		No.2	37.1	26.5	18.6
	No.3	42.4	32.2	26.0		No.3	53.2	—	13.2
800	No.1	40.0	23.0	14.5	1000	No.1	37.2	—	9.7
	No.2	40.8	—	8.3		No.2	36.6	—	14.3
	No.3	46.4	—	16.6		No.3	52.8	36.6	13.2

料および焼入れ試料について示す。Table 2, 3のデータの中 No.1 試料について横軸に熱処理温度をとり縦軸に諸性質をとって図示すると Fig. 3, Fig. 4 のようになる。他の試料も同一傾向を示しているが図示は省いた。

焼鈍試料では焼鈍温度の低いもの例えば No.1 試料の 600°, および 700°C 焼鈍試料は降伏点を示さなかつた。抗張力は焼鈍温度によつて大差はない。降伏点は焼

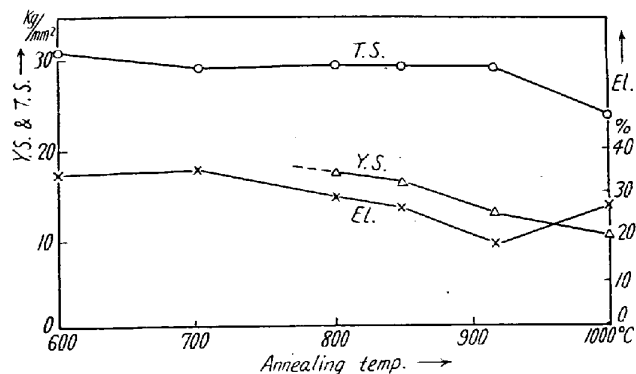


Fig. 3. Effect of annealing temperature on the static tensile properties of No.1 specimen.

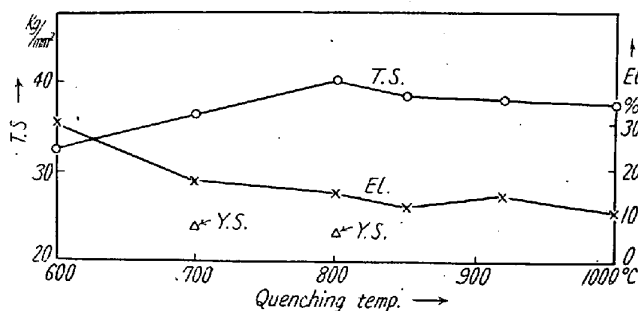


Fig. 4. Effect of quenching temperature on the static tensile properties of No.1 specimen.

鈍温度が高くなるにつれて若干低下する。伸びも焼鈍温度が高くなるとわずかに減少するようであるがほぼ一定といえる。

焼入れ試料で抗張力は焼入れ温度が高くなると増大の傾向を示す。抗張力の大きさは焼鈍試料についての値より数 kg/mm² 大きい。伸びは焼入れ温度の上昇につれて減少の傾向で焼鈍試料の伸びよりいくぶん小さい。焼入れによつて降伏点は現われないものと期待されたが No.1 試料を例にとれば 700°C と 800°C から焼入れの

二個の試料で現われた。この理由ははつきりしない。

衝撃試験で落槌の落下高さは焼鈍試料の試験のとき 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0m の 5 種類であり焼入れ試料の試験のときは 1.0m だけである。各落槌高さに対応

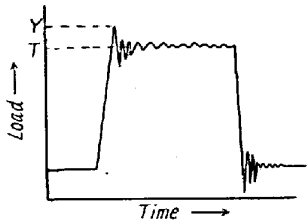


Fig. 5. Schematic load-time diagram.

する衝撃時の落槌高さと歪速度を Table 4 に示す。

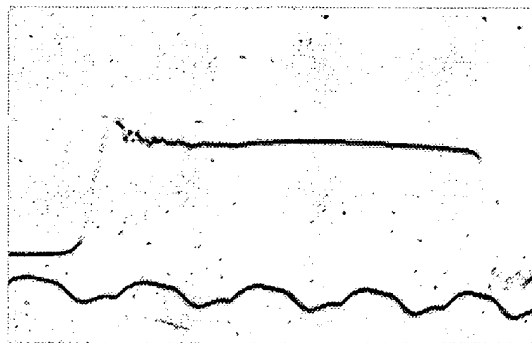
オッシログラフで得られた荷重-時間曲線は Fig. 5 のうになり Y 点を降伏点, T 点を抗張力と呼ぶ。実際に得られた荷重-時間曲線の数例を Photo. 1 に示

す。測定値は各試料について 3 個の平均値をとった。

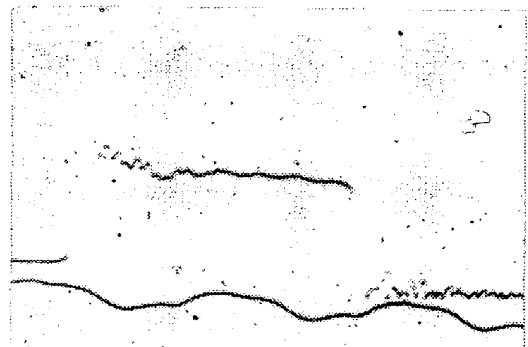
Fig. 4. Hammer speeds and strain rates at various heights of the falling hammer.

Falling height of hammer m	0.1	0.5	1.0	2.0	3.0
Hammer speed m/sec	1.40	3.14	4.43	6.29	7.70
Strain rate 1/sec	21.5	48.3	68.2	96.8	119

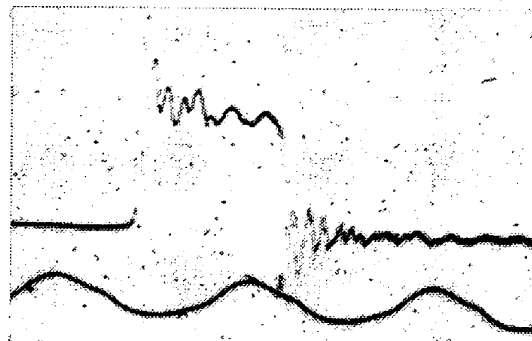
焼鈍試料についての衝撃試験結果を Table 5, 6, 7 に示した。焼入れ試料についてのそれは Table 8 に示した。No.1, 2, 3 試料共同一傾向を示すので No.1 試料の結果のみを Fig. 6, 7, 8, 9, 10 に図示した。Fig. 6 は抗張力と降伏点におよぼす焼鈍温度の影響を落槌高



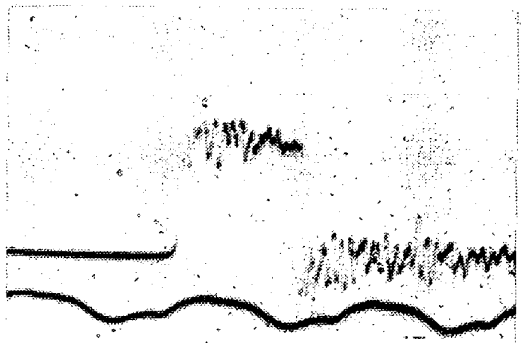
(a) No. 1 Specimen annealed at 800°C. Hammer height; 0.1m



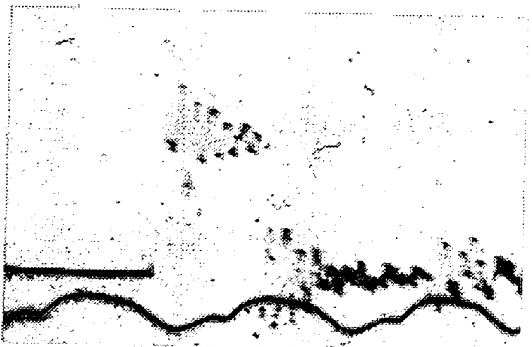
(b) No. 1. Specimen annealed at 100°C. Hammer height; 0.5m



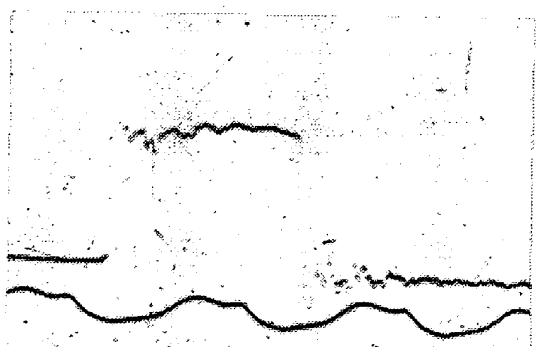
(c) No. 2 Specimen annealed at 850°C. Hammer height; 1.0m



(d) No. 2 Specimen annealed at 850°C. Hammer height; 2.0m



(e) No. 1 Specimen annealed at 800°C. Hammer height; 3.0m



(f) No. 1 Specimen quenched from 850°C. Hammer height; 1.0m

Photo. 1. Load-time diagrams under impact tensile test. Time mark; 1/300 sec.

Table 5. Results of impact tensile tests of No.1 test specimens annealed.

Annealing temp. °C	Hammer height m	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %	Annealing temp. °C	Hammer height m	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %
600	0.1	—	70.6	1.8	850	0.1	42.1	53.1	22.3
	0.5	—	73.7	1.9		0.5	46.1	59.1	19.9
	1.0	—	84.1	0.8		1.0	48.6	72.3	17.1
	2.0	—	84.8	0.6		2.0	50.8	79.1	11.3
	3.0	—	101.0	1.3		3.0	50.8	85.5	17.2
700	0.1	—	67.2	1.2	920	0.1	38.4	49.5	17.1
	0.5	—	76.6	2.2		0.5	41.7	53.7	14.3
	1.0	—	86.3	0.5		1.0	45.2	65.9	12.5
	2.0	—	86.2	0.8		2.0	49.2	69.9	11.3
	3.0	—	94.3	0.4		3.0	47.6	78.6	15.9
800	0.1	42.5	58.1	20.5	1000	0.1	33.5	46.2	24.2
	0.5	45.2	58.1	17.4		0.5	36.9	47.7	19.1
	1.0	46.6	68.2	17.2		1.0	38.1	51.3	16.9
	2.0	50.9	74.3	10.8		2.0	40.3	63.7	20.2
	3.0	54.0	90.5	15.9		3.0	42.1	66.6	20.9

Table 6. Results of impact tensile tests of No. 2 test specimens annealed.

Annealing temp. °C	Hammer height m	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %	Annealing temp. °C	Hammer height m	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %
600	0.1	—	65.0	0.4	850	0.1	39.0	54.8	14.9
	0.5	—	63.3	1.3		0.5	42.6	56.0	10.2
	1.0	—	74.4	0.8		1.0	45.1	71.1	9.6
	2.0	—	75.0	0.7		2.0	49.1	77.6	11.3
	3.0	—	90.0	2.0		3.0	47.9	82.2	7.5
700	0.1	—	56.8	1.7	920	0.1	36.9	43.2	26.9
	0.5	—	58.6	1.1		0.5	36.6	44.3	23.5
	1.0	—	78.6	3.1		1.0	38.3	59.7	23.7
	2.0	—	77.8	3.6		2.0	42.2	64.5	22.2
	3.0	—	90.3	0.8		3.0	41.4	63.1	23.1
800	0.1	—	60.2	1.8	1000	0.1	33.1	40.6	23.5
	0.5	—	64.5	2.8		0.5	36.2	44.9	21.7
	1.0	—	71.1	2.0		1.0	40.8	57.7	21.4
	2.0	—	77.6	1.2		2.0	39.1	62.0	17.7
	3.0	—	86.3	4.6		3.0	43.8	66.6	22.0

さ 1m の場合のみについて示した。Fig. 7 は伸びにおよぼす焼鈍温度の影響を各種の歪速度の場合について示した。Fig. 8 は抗張力および降伏点におよぼす歪速度の影響を各焼鈍温度試料について示す。Fig. 9 は落槌高さ 1m の場合の抗張力、降伏点におよぼす焼入れ温度の影響、Fig. 10 は同じく落槌高さ 1m の場合の伸びにおよぼす焼入れ温度の影響を示した。

抗張力と降伏点におよぼす焼鈍温度の影響についてみると Fig. 6 に No.1 試料の例を示したように焼鈍温度が高くなると両者とも低下する。低下量は降伏点の方がいちじるしい。Table 1 に示したように焼鈍温度によって結晶粒度が変つているから焼鈍温度の影響は主とし

て粒度の影響であろう。すなわち結晶粒が大になると降伏点、抗張力は低下する。

衝撃荷重下の降伏点と静的試験でのその比および衝撃荷重下の抗張力と静的試験でのその比を落槌高さ 1m (歪速度 68 1/s) の場合についてみると Table 9 のようになる。No.1, No.2, No.3 試料で衝撃荷重下での降伏点は静的試験でのその比それぞれ 4~5 倍、3.5~5 倍、2.5~3.0 倍の値を示しており抗張力はそれぞれ 1.6 倍、1.6~1.7 倍、1.4~1.5 倍となつている。アルミニウムの場合にはこれらの比に対する結晶粒度の影響が認められ結晶粒が細かいほどこの比は大となつたが今回の実験ではその傾向は見られない。

Table 7. Results of impact tensile tests of No. 3 test specimens annealed.

Annealing temp. °C	Hammer height m	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %	Annealing temp. °C	Hammer height m	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %
600	0.1	—	78.6	0.4	850	0.1	48.6	62.7	28.8
	0.5	—	79.8	2.2		0.5	48.6	69.4	25.6
	1.0	—	84.4	1.2		1.0	54.1	79.1	26.8
	2.0	—	85.6	0.6		2.0	55.2	80.8	23.1
	3.0	—	102.8	0.6		3.0	54.4	85.5	9.4
700	0.1	—	64.8	3.9	920	0.1	47.7	55.8	31.5
	0.5	—	71.5	8.5		0.5	49.9	63.6	28.5
	1.0	—	73.3	4.9		1.0	51.6	73.2	27.1
	2.0	—	83.9	4.3		2.0	56.2	80.6	24.8
	3.0	—	98.5	2.0		3.0	54.3	80.3	26.9
800	0.1	49.4	66.5	25.4	1000	0.1	47.7	54.9	28.9
	0.5	54.8	65.1	14.5		0.5	48.9	58.8	30.0
	1.0	55.9	77.5	12.6		1.0	54.2	75.0	29.4
	2.0	56.7	76.4	7.4		2.0	52.2	78.8	25.7
	3.0	57.5	90.5	23.5		3.0	56.2	81.2	26.5

Table 8. Results of impact tensile tests of quenched test specimens. Falling height of hammer; 1.0m

Quenching temp. °C	Specimens	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %	Quenching temp. °C	Specimens	Tensile strength kg/mm ²	Yield stress kg/mm ²	Total elong. %
600	No.1	—	72.3	1.9	850	No.1	55.4	60.0	16.2
	No.2	—	71.3	4.5		No.2	53.4	60.2	12.5
	No.3	—	80.3	4.0		No.3	67.2	68.1	19.1
700	No.1	45.1	51.4	29.0	920	No.1	55.7	65.2	20.6
	No.2	45.6	53.2	11.2		No.2	49.8	65.2	28.8
	No.3	55.4	63.8	10.9		No.3	69.7	70.8	16.8
800	No.1	52.2	52.9	21.1	1000	No.1	57.0	70.6	9.4
	No.2	55.7	65.0	14.2		No.2	55.4	60.4	24.0
	No.3	64.5	52.0	21.8		No.3	79.3	80.2	17.1

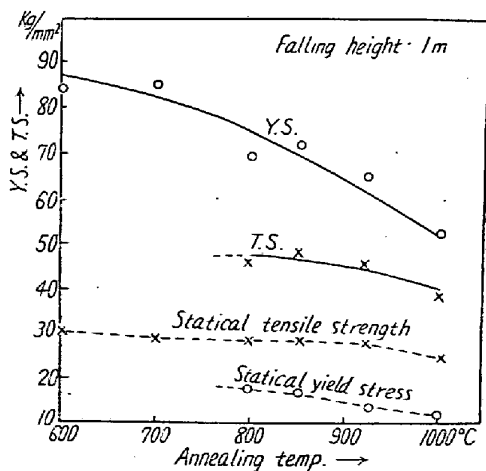


Fig. 6. Effect of annealing temperature on the tensile strength and yield stress of No. 1 specimen under impact tensile test.

抗張力, 降伏点が衝撃荷重下で高くなることは各種の

金属材料について知られている。例えば H. G. Baron の実験¹³⁾ではアームコ鉄および軟鋼について歪速度 90 1/s の下で公称降伏応力が静的荷重下で得られる値のほぼ 2 倍になり公称抗張力も静的荷重下のときに比べて 1.4~1.3 倍大きくなっている。

静的および動的の伸びにおよぼす焼鈍温度の影響は非常に興味深い。静的試験ではどの焼鈍温度試料でもほぼ一定の伸びを示したが衝撃試験では焼鈍温度が低いと脆性を示した。すなわち No.1, No.3 試料では 600°, 700°C, No.2 試料では 600, 700, 800°C で焼鈍したものについての衝撃荷重下の伸びは零に近く脆性破断をした。抗張力の上でも組織の上でも再結晶が確認されているにもかかわらず脆性破断をした。この脆性を示す試料は静的試験で降伏点を示さなかつた。著者の知る限りではかかる脆性現象を報告している例を聞かないし予期しないことでもあつた。前述のごとく熱処理前の試料は

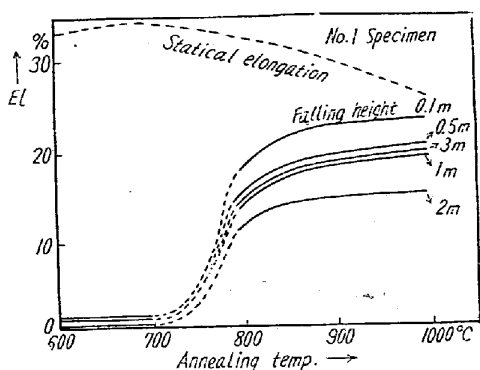


Fig. 7. Elongation-annealing temperature curves for various strain rates under impact tensile test.

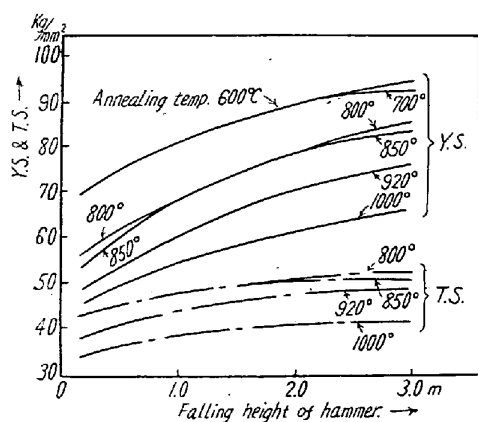


Fig. 8. Effect of strain rates on the tensile strength and yield stress.

Table 9. Values of Y_D/Y_S and T_D/T_S at the strain rate of 68 1/s

Annealing temp. °C	No.1 Specimen		No.2 Specimen		No.3 Specimen	
	Y_D/Y_S	T_D/T_S	Y_D/Y_S	T_D/T_S	Y_D/Y_S	T_D/T_S
600	—	—	—	—	—	—
700	—	—	—	—	2.45	—
800	3.89	1.59	—	—	2.58	1.47
850	4.35	1.62	3.53	1.70	2.84	1.46
920	3.97	1.56	4.77	1.61	2.78	1.39
1000	4.98	1.61	4.57	1.70	2.98	1.50

Y_D : Yield stress under impact test
 Y_S : Yield stress under static test
 T_D : Tensile strength under impact test
 T_S : Tensile strength under static test

加工度不明であり炭化物の分布状態も明らかでない。焼鈍によつて再結晶したが炭化物の分布が加工状態のままのときは衝撃によつて脆性を呈すると仮定すれば一応この現象の説明がつくようであるが炭化物の分布が何故脆性の原因となるかは明らかでない。焼鈍温度の低いときには炭化物の分布状態は加工状態のときとあまり変ら

ないが焼鈍温度が高くなると炭化物の溶解が進み炭化物の分布状態が加工状態のそれとは異なってくることは考えられる。また焼入れのときは冷却のさいの炭化物の再析出がほとんどなくそのために低い焼入れ温度でも炭化物分布状態の加工状態への復元が妨げられるので延性が生ずるのではないかと考えている。われわれの考えでは粒界ではなく粒内に分布する炭化物が脆性の原因となるように思われる。この点につき目下電子顕微鏡による観察をおこなっている。

歪速度による影響が抗張力、降伏点および伸びにおよぼす有様を No.1 試料について Fig. 7, Fig. 8 に示した。他の 2 試料も全く同じ傾向を示す。Fig. 7 に示すように衝撃試験下における方が静的試験下におけるより伸びは小さくなる。本実験の歪速度内で伸びのデータには相当のバラツキがみられるが歪速度が増すと伸びはわずかながら減少する。これに関して報告³⁾⁴⁾¹⁰⁾は必ずしも一致した結論を示していない。すなわち Meyer は本実験と同様に伸びは歪速度が増すと減少するとし Koer-

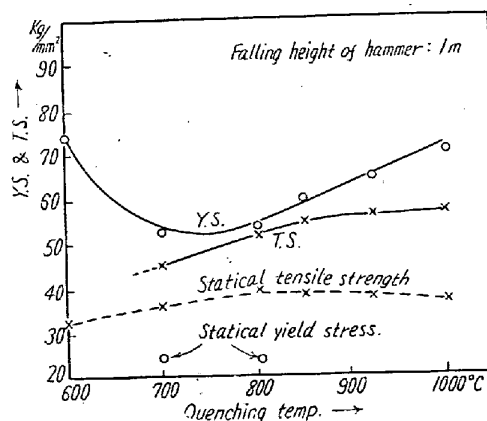


Fig. 9. Effect of quenching temperature on the tensile strength and yield stress of No.1 specimen under impact tensile test.

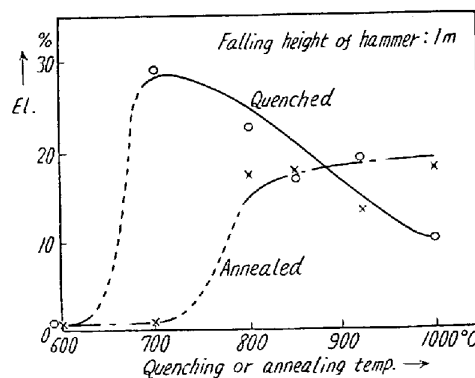


Fig. 10. Elongation-quenching temperature curve of No.1 specimen.

ber, Storp は静的試験におけるより衝撃試験における方が伸びは大きくなると報告している。Manjoine は歪速度 $10^{-3} \sim 10^3$ 1/s にわたってほぼ一定、 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 1/s で若干減少すると結論している。

降伏点および抗張力におよぼす歪速度の影響は顕著であり歪速度が増すと降伏点および抗張力は大きくなるが前者に対する影響がとくにいちじるしい。Fig. 8 に No. 1 試料についての例を見るごとくである。この報告でのべた応力はすべて公称応力で真応力を表わすものではないが降伏時の断面収縮は無視できる程度であるから降伏応力はほぼこの図のまま真の降伏応力を表わすものと考えて差支えない。真の抗張力は図示した公称応力より大きくなる訳であるが Fig. 7 にみたように落槌高さによって伸びは大差ないから破断部の断面積もほとんど同一と考えられる。したがって真の抗張力が歪速度により受ける影響は Fig. 8 と同一傾向と考えて差支えなからう。

この報告ではさきにのべたように Fig. 5 の Y 点を仮に降伏点として論じて来たが他の諸文献ではこのピークを降伏点としては採用せず下部降伏点を採用している。それらの研究者によれば衝撃装置全体の振動を考えるとこのピークが何を表わすかはつきりしない、また下部降伏点の方がバラツキが少ないという理由でそうしている。著者達の装置で得られた曲線のこのピークを降伏点と呼んだ理由は下記の通りである。

- (a) Al と Cu の焼鈍試料を衝撃引張りしても全然ピークが現われない。
- (b) これらの試料にあらかじめ 10% の静的引張り変形を与えて弾性限を高くした状態で試験してもピークはでない。
- (c) 焼鈍した純鉄線にあらかじめ 10% の静的引張り変形を与えて静的試験のさい降伏点を示さぬ状態にした試片ではピークはほとんどでない。
- (d) 純鉄の焼入れ試片でもほとんどピークはでなくなる。

このような事実によればピークは試片の組織ことに静的に降伏点の発生するような組織の状態と関連あることは明らかである。ことに最初に大きな衝撃力がかかりそのつぎの瞬間 (0.0001 秒) にその応力の relaxation のある現象たとえば降伏現象と関連のあることは (c) (d) の実験からも明らかであろう。

ピークの先端が降伏荷重そのものを示すか否かは疑問で装置の振動も加わっていると思われるがこれを区別することはできないので仮にこれを降伏点と呼んだのであ

る。

J. D. Campbell は降伏応力 Y と歪速度 $\dot{\epsilon}$ の関係を次式で表わしている¹⁴⁾。

$$Y = \text{Constant} \cdot \dot{\epsilon}^{1/\alpha} [\alpha = (nkT)^{-1}] \dots (1)$$

α : ディメンションなしの常数

n : エネルギーの逆数のディメンションをもつ常数。

k : ボルツマン常数

T : 絶対温度で表わした試験温度。

0.2% C, 0.6% C の炭素鋼についての実験結果はこの式によく一致すると報告している。そして $1/\alpha = 0.053$ $T = 290^\circ\text{K}$ で $1/n = 0.48 \text{ eV}$ になると述べている。(1) 式は $\log Y - \log \dot{\epsilon}$ の座標上では直線になる。この直線の勾配が $1/\alpha$ を表わす。本実験結果はかなり直線から外れるが最小自乗法で直線を決定して $1/\alpha$, $1/n$ を算出すると Table 10 のようになる。算出に当って $T = 290^\circ\text{K}$ とした。ここに算出した $1/\alpha$ は Campbell の報告より数倍大きい。つまり $1/n$ が数分の一になっている。このことは Fig. 8 の Y, S の勾配が大きすぎることを意味している。前述のごとくピークは単に装置の振動によるものでないと思われるが完全な降伏点を表わすものかどうか疑問があるので今後の検討に俟ちたい。

Table 10. Values of $1/\alpha$ and $1/n$.

Specimens	Annealing temperature ($^\circ\text{C}$)	$1/\alpha$	$1/n$ (eV)
No. 1	800	0.22	0.12
	850	0.27	0.09
	920	0.29	0.09
	1000	0.29	0.09
No. 2	800	0.30	0.09
	850	0.26	0.10
	920	0.26	0.10
	1000	0.20	0.12
No. 3	800	0.25	0.10
	850	0.23	0.11
	920	0.18	0.14
	1000	0.16	0.16

IV. 結 論

以上を総括するとつぎのようになる。

(i) 衝撃試験のさい得られる荷重—時間曲線に表わされたピークは試料の降伏点に関連のある何かの性質を表わすもので単なる装置の振動ではない。

(ii) 衝撃荷重下では静的荷重下でよりも降伏点、抗張力はいちじるしく上昇する。歪速度約 70 1/sec の下で降伏点は純鉄で約 4 倍、極軟鋼で約 3 倍、抗張力は純

鉄で約1.6倍, 極軟鋼で約1.5倍それぞれ静的荷重下での値よりも大きくなる。伸びは若干減少する。

(iii) 歪速度が大になると降伏点および抗張力はともに増大するが増大の割合は降伏点の方が大きい。伸びは本実験の歪速度範囲では歪速度が大になるとわずかながら減少する。

(iv) 再結晶温度以上の温度でも焼鈍温度が低い時の試料は衝撃荷重下で脆性破壊をした。焼入れによつて脆性破壊を示す焼入れ温度は低温側に移つた。

この研究遂行に当り終始絶大な援助を与えて下さつた本研究室の森勉氏, 佐藤公子氏の両氏に厚く御礼申し上げます。(昭和33年11月寄稿)

文 献

- 1) 作井その他: 日本金属学会誌, **20** (1956) 332
- 2) 作井その他: 日本金属学会誌, **21** (1957) 55
- 3) E. Meyer: Forschungs arb. V.D.I. No.295 (1927) 62
- 4) F. Koerber, H. Storp: Mitt. K. W. Inst.

Eisenforschung., 7 (1925) 81

- 5) 井上勝郎: 鉄と鋼, **41** (1955) 593
- 6) William H. Hoppman H., Proc. A.S.T.M., **47** (1947) 533
- 7) J. Winlock: J. Metals, **5** (1953) 797
- 8) D. S. Clark: Trans. A.S.M., **46** (1954) 34
- 9) M. Manjoine, A. Nadai: Proc. A.S.T.M., **40** (1940) 822
- 10) M. J. Manjoine: J. Appl. Mech., **11** (1944) A211
- 11) E. Siebel, G. Menges: Arch. Eisenhüttenwes., **28** (1957) 31
- 12) F. X. Eder, H. J. Wisotzki: Zeit. Metallkde., **48** (1957) 561
- 13) H. G. Baron: J. Iron & Steel Inst., **182** (1956) 354
- 14) J. D. Campbell: Acta Met., **1** (1953) 706

16-15-6 型合金の時効について*

(耐熱材料における合金元素としての窒素の作用について—II)

岡本正三**・田中良平***・佐藤 昭***・石塚健雄***

Aging of 16-15-6 Type Alloys.

(On the function of nitrogen as an alloying element in heat-resisting materials—II)

Masazō Okamoto, Dr. Eng., Ryōhei Tanaka.

Akira Sato, and Takeo Ishizuka

Synopsis:

Effect of N, Ni and C content on aging characteristics of the low Ni Timken 16 Cr-15 Ni-6 Mo (-7.5Mn) type alloys was studied by measurements of differential dilatation, hardness, and microstructure. The results were summerized as follows: (1) Maximum amount of N addition was limited at about 0.3%, above which sound specimens of the alloys could not be produced by melting and casting in air. (2) Two stages of contraction in differential dilatation due to the precipitation were observed at 500~600°C and above 800°C during tempering of the solution-treated alloys irrespective of both the composition and the hot-cold working. It seems that the later contraction was due to the precipitation of nitrides and carbides, especially a large contraction being observed at above 750°C in the carbon containing alloys. (3) In all of the solution-treated (1200°C 1h, water-quenched) alloys, hot-cold

* 昭和33年10月本会講演大会にて発表 ** 東京工業大学金属工学教室, 工博

*** 東京工業大学金属工学教室