

(107) 高温における鋼の引張強度の変形速度依存性について

(高速衝撃試験機による金属材料の引張特性の測定—Ⅲ)

東京工業大学

工博 作井誠太・中村正久・○布村成具

Velocity Dependence of the Cohesive Strength of Steels at Elevated Temperature.

(Measurement of tensile properties of metals with a high-speed impact testing machine—Ⅲ)

Dr. Seita SAKUI, Tadahisa NAKAMURA and Shigetomo NUNOMURA.

I. 緒 言

多くの工業材料が高温において使用され、また変形加工される。使用状態に対する特性は主としてクリープ試験によつて明らかにされるものであるが、たとえばタービンの初段翼における熱衝撃など、衝撃的応力が問題となる場合も少なくない。とくに高温変形加工においては、ほとんどの場合  $10 \sim 10^3 s^{-1}$  の高変形速度においてなされる。特に最近問題となつている爆発成形にいたつては、更にそれ以上の速度で行なわれるものである。

このような高変形速度下の、すなわち衝撃応力下の材料の挙動に対しては多くの興味を持たれ、相当な研究がなされて来た。この目的のために高温では、熱間振り試験、高温衝撃圧縮試験、高温衝撃引張試験などが使用されている。とくに問題を変形抵抗に限るならば、衝撃引張試験がもつとも単純な一つの主応力によるものであるのに対して、熱間振り試験においては、変形の進行にともなう異方化にしたがう軸方向応力の発生により、また衝撃圧縮試験においては接触面の摩擦、対角線応力など応力状態の解明がはなはだしく複雑である。さらに主要なことは、在来の方法の大部分が、衝撃引張試験をも含めて、目的とする速度範囲のかなり低域においてのみしかなし得なかつという事実である。

著者達が工業材料の衝撃特性の解明を目的としてさらにこの試験速度領域を拡大せしめ得る衝撃引張試験機を製作したことはすでに報告した。今回同試験機を用い数種の実用鋼種について高温衝撃引張試験を行ない、若干の興味ある結果を得たので報告する。

II. 実験方法

試験に供した鋼は Table 1 のものである。加熱は 400 kc/s, 10 kW の高周波誘導加熱に依つた。表皮加

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

Steel	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
4	0.20	0.20	0.47	0.027	0.015	—	1.00	0.26
5	0.15	0.34	0.49	0.019	0.013	—	2.33	0.90
6	0.15	0.21	0.44	0.013	0.019	—	—	—
7	0.07	0.76	1.03	0.030	0.006	9.00	18.54	—

熱の効果を軽減させるため 0.1~数サイクルの断続加熱を行ない、同時にその on-off 時間比の加減を比例積分動作する電子管回路により温度を制御した。温度の測定は Fig. 1 の試験部に熱電対を密着せしめ、その上を完全に石綿糸で巻上げた。これはまた温度分布の改善にも役立つ。数本の熱電対を点熔接した試験片により調べた結果、取付に注意を払うならば温度分布および保持は充分満足できるものであつた。試験片の酸化は問題となるが構造上の制約のため石綿糸で巻上げたまま空気中において加熱した。とくに高温のもの以外あまり問題にならない。得られた試験結果はあらかじめ用意した酸化減量の資料にもとづき処理した。

III. 実験結果

500°C 以下における鋼の引張性質の温度および速度関

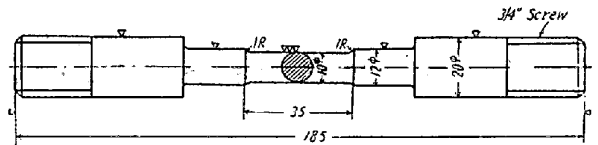


Fig. 1. Shape and size of the test piece.

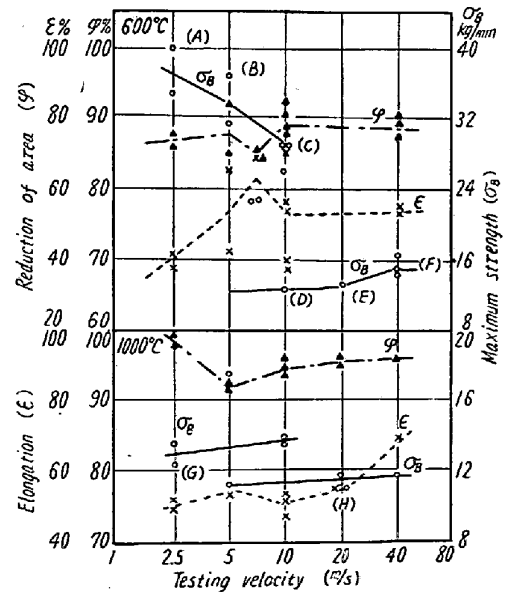


Fig. 2. Variation of tensile strength, elongation and reduction of area vs. testing velocity at 600°C and 1000°C with the steel 6.

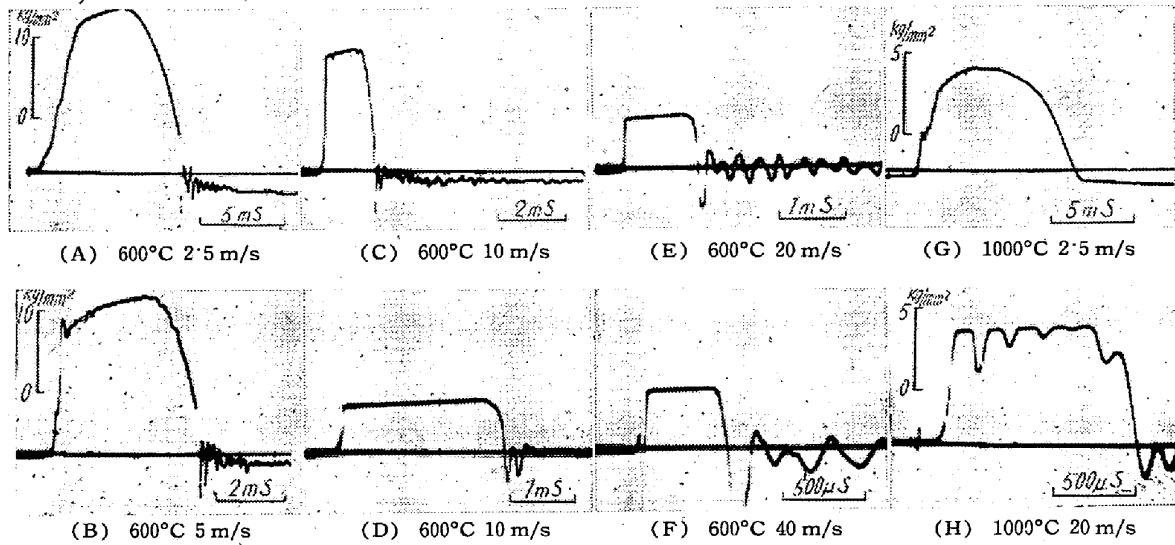


Fig. 3. Load-time curves for the steel 6. (A)~(H) correspond to those in Fig. 2.

係はよく知られた様式にしたがつたものであつたが、軟鋼 (steel 6) の 600°C の試験結果において、試験速度 10m/s 近辺で変形抵抗の異状なバラツキが認められた。この点についてさらに実験を繰り返したところ、その値が高低の二つのグループに分けられ、それらは 10m 以下および以上の速度に連なるものであることが認められた (Fig. 2)。ここで変形抵抗として最大荷重時の応力をとつた (以下同様)。高変形速度下において変形が予想されるよりもはるかに低い応力でなされることはしばしば認められることで、なんらかの軟化現象の存在が推測されていた。しかし本試験で表われた 10m/s なる臨界速度値は在来の多く試験機の上限をなすもので、このような現象は多くの場合無意識に、あるいは故意に無視されたものであろう。変形抵抗についてこのような二つのグループに分割し得ることは、まずその応力歪関係に対応する荷重・時間曲線から理解される。

Fig. 3 の (A)~(H) は Fig. 2 の (A)~(H) に対応する荷重・時間曲線で、(C)(D) は同一条件 (600°C, 10m/s) の試験結果であるが、(C) は (A)(B) と、(D) は (E)(F) と類似している。(A)(B)(C) 間および (D)(E)(F) 間の相異の説明はすでに報告したとおりであ

る。(G)(H) は 1000°C の両グループの代表例である。顕微鏡試験によると両グループの変形部はそれぞれ特徴ある組織を示した。(A)~(C) グループは完全な加工組織を、(D)~(F) グループは一部再結晶した組織で、試験速度にともなう温度上昇の差異のみではこの差は説明できない。この高速度軟化は試験温度の上昇に伴つてしだいにその差は不明瞭となる (Fig. 2, 3 参照)。これが変形抵抗、組織、荷重-時間曲線から区別され得る

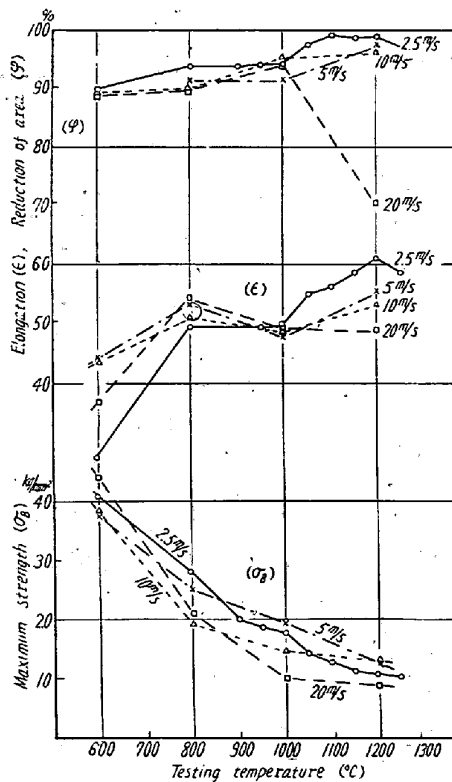


Fig. 4. Influence of testing velocity and temperature on tensile properties with steel 4.

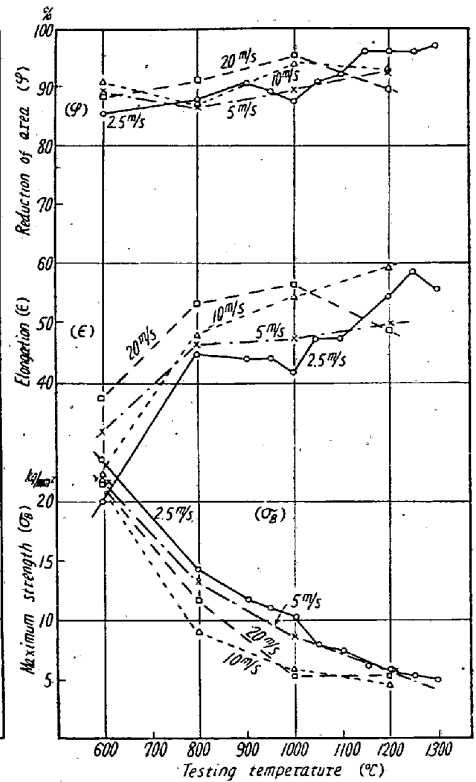


Fig. 5. Influence of testing velocity and temperature on tensile properties with steel 5.

範囲は軟鋼 (steel 6) では  $600^{\circ}\text{C}\sim 1300^{\circ}\text{C}$  である。低合金鋼 (steel 4, 5) においても同様な現象が認められた (Fig. 4, 5) 二つのグループの明瞭に区別される範囲は  $800^{\circ}\text{C}\sim 1100^{\circ}\text{C}$  と若干軟鋼より高温側にある。伸び、絞りでは前述の区分はあまり明確ではない。しかし伸びは一般的傾向として高速軟化の場合大きく出るように思われる。 $1350^{\circ}\text{C}$  以上では粒界熔融が起るらしく変形抵抗、伸び、絞りとも極度に低下する。また誤つて  $1350^{\circ}\text{C}$  以上に一度過熱した試片も同様である。この現象間には  $2.5\text{m/s}$  と  $40\text{m/s}$  の試験速度であまり大差は無い。

高温加工で変形抵抗とともに重要ないわゆる加工性は単純引張りでは局部収縮のため変形量が限定されあまり明白でない。伸び、絞りに若干の傾向は認められるが異鋼種との比較は困難である。この点について試験片の形状その他についてさらに検討中である。

#### IV. 結 言

イ)  $2.5\text{m/s}\sim 80\text{m/s}$ , 室温  $\sim 1400^{\circ}\text{C}$  において実用鋼種の熱間引張試験を行ない変形抵抗などの基礎資料を得た。

ロ) 軟鋼  $500^{\circ}\text{C}$  以下および  $1200^{\circ}\text{C}$  以上では引張性質の温度および速度依存性は在来から考えられていた様式にほぼ一致する。

ハ) 軟鋼  $600^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$  の領域において約  $10\text{m/s}$  の速度を境として破断様式に変化が起り軟化の現象を示す (高速軟化)。この温度範囲は鋼種により若干変化する。

ニ) 前項の高速軟化のとき伸びも若干増加し、熱間加工性の向上が推定される。

### (108) 鋼の焼戻脆性に関する研究

(シャルピー衝撃試験における荷重—時間曲線の研究—V)

東京工業大学

工博 作井誠太・中村正久・○大森正信

On Temper-Brittleness of Steel.

(Studies of load-time relations under Charpy impact test—V)

Dr. Seita SAKUI, Tadahisa NAKAMURA  
and Masanobu OHMORI.

#### I. 緒 言

前報<sup>1)~3)</sup>において、軟鋼の各種状態における遷移温度と破壊様式の変化、ならびに高抗張力鋼、T-1、と軟鋼の溶接部分における衝撃特性などの一連の実験を小型シャルピー衝撃試験機を用いて行なつた結果を報告した。

そのさい衝撃破断時における荷重—時間曲線を水晶—陰極線オッシログラフの方式で記録し破壊のいろいろなる特徴をも観察した。実用的にはこの小型試験機の有用性が確かめられたと同時に材料の靱脆破壊の本質を理解する上でも少なからぬ知識が得られた。Ⅳ型の荷重—時間曲線の現われる最高試験温度を遷移温度と定義したが、この遷移温度をもつて材料のわずかな靱脆の差を区別することができることなどがその一例である。

今回は焼戻し脆性が顕著である材料として古くからよく知られている Ni-Cr 鋼を用いて各種の熱処理条件の下における破壊の諸特徴をしらべた。

#### II. 実験方法

実験に用いた試料は JIS SNC 2 鋼でその化学組成は Table 1 に示す。この鋼はすでに前報<sup>4)</sup>で用いたものと同じものである。

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

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu
0.28	0.47	0.24	0.008	0.010	2.53	0.85	0.13

試料は熱間圧延により  $8\text{mm}\phi$  の線にしたのち冷間引抜きを行ない  $5.5\text{mm}\phi$  にした。この引抜き試料を矯正後  $55\text{mm}$  長さに切断したのちすべて  $880^{\circ}\text{C}$  に  $1\text{h}$  保持して油焼入れしその後つぎのような熱処理を行なつた。

1) S. C.:  $650^{\circ}\text{C}$   $1\text{h}$  焼戻後徐冷 ( $40^{\circ}\text{C}/\text{h}$ )

2) R. C.:  $650^{\circ}\text{C}$   $1\text{h}$  焼戻後水冷

3) R. 1.:  $650^{\circ}\text{C}$   $1\text{h}$  焼戻後水冷,

$500^{\circ}\text{C}$   $70\text{mn}$  再加熱後水冷

4) R 2 : " " " " ,  $500^{\circ}\text{C}$   $12\text{h}$  " "

5) R 3 : " " " " ,  $500^{\circ}\text{C}$   $50\text{h}$  " "

6) R 4 : " " " " ,  $500^{\circ}\text{C}$   $100\text{h}$  " "

熱処理後試験片は  $5.00\text{mm}\phi \times 55\text{mm}$  にグラインダー仕上げを行ないその中央部に頂角  $60^{\circ}$  底部半径  $0.1\text{mm}$  の切欠を円周状に入れた。

衝撃試験機ならびに水晶—陰極線オッシログラフなど用いた試験装置はまったく前報<sup>1)~3)</sup>と同じである。本報告で採用せる遷移温度は Fig. 1 に示した荷重—時間曲

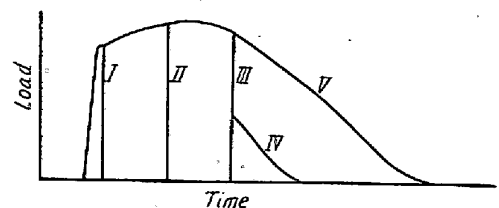


Fig. 1: Five types of load-time curves.