

<論 文>

複合組織의 破壞舉動과 破壞靱性에 관한 研究(I)

宋 森 弘\*·金 奎 生\*\*

<1981年 2月 16日 接受>

A Study on the Fracture Behavior and the Fracture Toughness of Combined Structure

Sam Hong Song and Kyu Seng Kim

Abstract

In order to study on the fracture behavior and the fracture toughness of combined structure, the specimens, structural steel (SM28C) and 6 : 4 brass are annealed for ductility and investigated for the behavior of fracture and the absorbed energy at the variation of the impact velocity. The results obtained by this study are as follows :

- (1) The maximum load increases with the impact velocity, but in the condition of constant impact velocity it decreases as the ductility increases.
- (2) The absorbed energy increases with the impact velocity, but in the condition of constant impact velocity it is constant as the ductility increases.
- (3) In the case of the combined structure of pearlite and ferrite, the microcracks initiates and propagates mainly in the ferrite structure intergranular in accompany with the slip, and the slip concentration phenomena occur in the boundary of pearlite structure. However, in case of the combined structure of  $\alpha$  and  $\beta'$  phase, the microcracks initiates and propagates mainly in the  $\alpha$  phase intergranularly, and slip concentration phenomena not occur in the boundary of  $\beta'$  phase.

1. 結 論

從來의 衝擊에 관한 研究를 살펴보면 大部分이 吸收에너지를 가지고 脆性破壞點을 檢討하거나<sup>(1)(2)</sup>, 試驗溫度變化에 따른 衝擊荷重-時間曲線을 가지고 脆性의 遷移點을 考察하거나<sup>(3)(4)</sup>, 또는 담금질, 템퍼링한 材料의 노치 및 無노치材를 가지고 機械的인 性質만을 조사<sup>(5)</sup>하는 경향이 있다.

실질적으로 衝擊荷重下에서 衝擊力에 대한 抵抗力은 보통 吸收에너지 혹은 衝擊值로 나타내는데 一般적으로 吸收에너지는 脆性材料일수록 아주 작으며 延성이

增加에 따라 增加하는 경향이 있다. 또한 이 延성은 衝擊速度에 따라서 影響을 받는다. 따라서 衝擊荷重을 받는 경우에는 材料의 延성과 衝擊速度가 重要한 因子가 될것으로 생각된다. 그런데 從來의 衝擊荷重下에서 材料의 延성과 衝擊速度등을 고려한 研究들을 살펴보면 다음과 같다.

作井誠大<sup>(6)</sup>등은 衝擊引張下에서 結晶粒도가 다른 極軟鋼을 가지고 降伏強度의 粒度依存性, 溫度依存性을 조사하였는데, 큰 依存性이 생기는것은 材料의 轉位密度와 그配列의 模樣에 의한 것이라고 주장하였다. 또 森勉<sup>(7)</sup>등은 衝擊引張荷重下에서 Al-Mg 合金材의 降伏強度 및 그溫度依存性에 대하여 研究하였는데, 그결과 降伏強度는 Cottrell 및 Petch式<sup>(8)(9)</sup>을 만족하며 試驗溫度가 높을수록 降伏強度가 낮다고 主張하였다.

\* 正會員, 高麗大學校 工科大學

\*\* 正會員, 高麗大學校 大學院

또한 大森<sup>(10)</sup> 등에 의하면 結晶粒이 작은 材料가 衝擊引張荷重下에서 延率이 전반적으로 작은것은 本質의인 延性-脆性遷移에 의한것이 아니고 應力波의 傳播라는 力學的인 問題로서 降伏點에 대한 冶金學的인 문제가 結果로 야기된 것이라고 주장하였다. 그리고 康<sup>(11)</sup> 등은 回轉圓板型 高速衝擊試驗機로서 어니일링한 스프링鋼의 降伏荷重을 구하여 降伏荷重과 結晶粒度的 關係를 나타내는 Petch 式<sup>(9)</sup>을 가지고 檢討하였다. 그 결과, 衝擊速度가 10m/sec 以下에서는 Petch 式을 만족하지 않고, 20m/sec 以上の 高速度에서는 削性軟化 現象이 일어나면서 Petch 式을 만족한다고 보고하고 있다.

이외에도 Campbell<sup>(12)</sup>, Hahn<sup>(13)</sup> 등은 鐵鋼材料를 가지고 衝擊引張下에서 試驗片 變形速度에 變化를 주어 降伏點과의 關係를 說明하였고 作井, 森 등은<sup>(14)</sup> 純鐵과 極軟鋼을 가지고 衝擊引張試驗을 행하여 試驗片의 變形傳播速度를 引用하여 結晶粒이 작은 材料가 變形이 작음을 說明하였다.

以上の 研究들은 대부분이 衝擊引張下에서 鐵鋼材料를 가지고 降伏強度의 粒度依存性, 溫度依存性등을 검

토하였는데, 이와관련시켜 衝擊特性과 破壞舉動등을 根本的으로 論한 研究는 없는것 같다.

따라서 本研究에서는 複合組織을 갖는 試驗片의 破壞舉動과 破壞靱性을 檢討하기 위하여, 어니일링한 軟鋼(SM28C)과 六四黃銅을 가지고, 延性을 부여한후, 衝擊速度에 따른 吸收에너지의 舉動 및 破壞舉動등을 分析 檢討하였다.

2. 實驗方法

衝擊굽힘試驗下에서 複合組織의 破壞舉動과 破壞靱性을 檢討하기 위하여, 試驗片材料는 國產壓延材 軟鋼(SM28C)과 六四黃銅을 擇하였다 試驗片은 延性을 부여하기 위하여 어니일링을 행한후, Fig.1 과 같이 소정

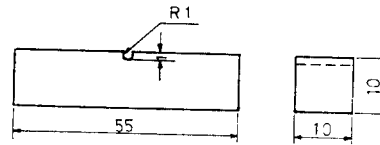


Fig. 1 Geometry of Charpy impact test specimen.

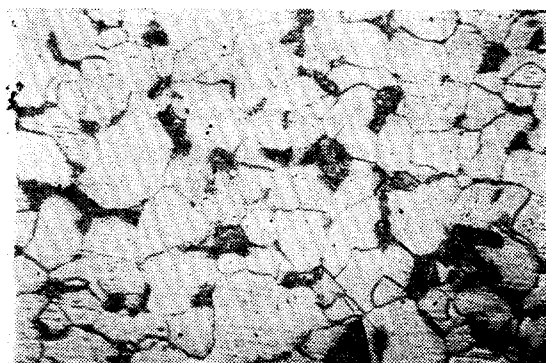
Table 1 Chemical composition, heat treatment, and mechanical properties of test materials.

Material	Chemical composition (%)	Condition of heat treatment	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Vickers hardness (Hv)	Test piece symbol
Mild steel	C : 0.28	Base Metal	68.0	11.8	39.3	228	M 0
	Si : 0.19	850°C 1 hr Air Cooling	46.2	33.7	56.5	154	M 1
	Mn : 0.42	850°C 1 hr Furnace Cooling	42.3	35.6	61.5	148	M 2
	P : 0.013	1000°C 1 hr Furnace Cooling	41.6	35.3	62.7	141	M 3
	S : 0.015	1150°C 1 hr Furnace Cooling	40.4	33.2	65.0	132	M 4
6 : 4 brass	Cu : 56.50	Base Metal	46.9	9.7	14.7	175	C 0
	Sn : 1.30	500°C 1 hr Furnace Cooling	51.9	14.9	17.3	151	C 1
	Pb : 3.76	600°C 1 hr Furnace Cooling	49.5	16.8	19.2	145	C 2
	Fe : 0.66	700°C 1 hr Furnace Cooling	47.5	17.6	19.9	139	C 3
	Zn : 37.78	800°C 1 hr Furnace Cooling	48.8	18.2	20.1	143	C 4

의 치수로 가공하였다. 試驗片의 化學成分, 熱處理條件, 機械的인 性質등을 Table 1에 제시한다.

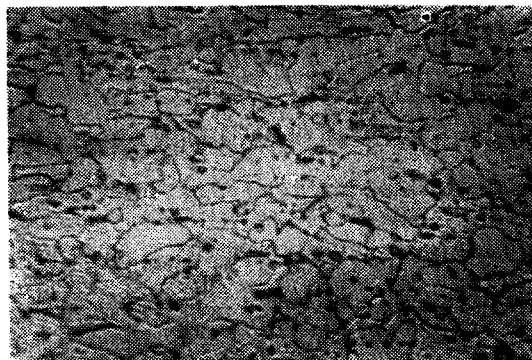
試驗片은 10×10×55mm로 中央에 曲率반지름 1mm, 깊이 1mm인 V型 노치試驗片으로 Fig. 1과 같이 加工

하였는데, 특히 노치部分은 金屬組織學的인 觀點에서 微視的인 破壞舉動을 조사하기 위하여, 샌드페이퍼의 메시순으로 연마한후 산화크롬으로 버핑하여 鏡面으로 다듬고 사용하였다. 한편 試驗片이 갖는 金屬組織의



65μ

Photo. 1 Microstructure of mild steel.  
(M 1 series)



65μ

Photo. 2 Microstructure of 6 : 4 brass.  
(C 1 series)

일예를 photo. 1 및 photo. 2 에 제시한다. photo 1 의 조직은 ferrite와 pearlite의 混合組織이며, photo. 2의 조직은 α相과 β'相의 混合組織이다. 衝擊荷重은 charpy Impact tester의 해머끝에 스트레인 게이지식 Load cell을 장치하여 측정하였다. 또한 實驗에 사용한 機械 및 장치는 30kg-m. charpy Impact tester, Deflection Amplifier, Load cell Amplifier, ss-5100 Synchronoscope등을 사용하였다.

그리고 實驗方法은 다음과 같다. 즉 해머를 落下시키게 되면 試驗片의 破壞에 소요된 힘은 해머끝에 장치된 스트레인 게이지식 Load cell에 의해 感知된다. 이 感知된 電氣抵抗의 微小變化가 Load cell Amplifier에서 增幅되어 Synchronoscope에 의하여 寫眞으로 投影

된다. 이와같이 하여 얻은 出力(mV)-時間(m sec) 曲線에서 Load-Output Calibration chart에 의해 出力을 荷重으로 換算하면 荷重-時間曲線을 얻을수 있다.

그리고 충격속도 V는 다음식에 의하여 계산하였다.

$$V = \sqrt{2gr(1 - \cos\theta)}$$

여기서 g : 충격가속도

r : 충격해머의 회전 반지름

θ : 지지각도

이상과 같이 준비된 시험편 및 실험방법으로 混合組織材의 荷重-時間曲線의 特徵, 衝擊速度에 따른 最大荷重의 特徵, 吸收에너지와 衝擊速度와의 關係, 衝擊速度에 의존하는 荷重作用時間과 變形角度, 衝擊速度와 破壞舉動등을 詳細히 관찰하였다. 특히 破壞發生傳播舉動을 觀察하는데는 800倍의 金屬顯微鏡을 사용하였다.

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3.1. 衝擊荷重과 時間과의 曲線의 特徵

우선 本節에서는 衝擊荷重과 時間과의 曲線의 特徵을 조사하였다. Fig. 2는 衝擊速度 (V=0.94 m/sec)를 一定하게 하고, 各 試驗片을 Table 1과 같이

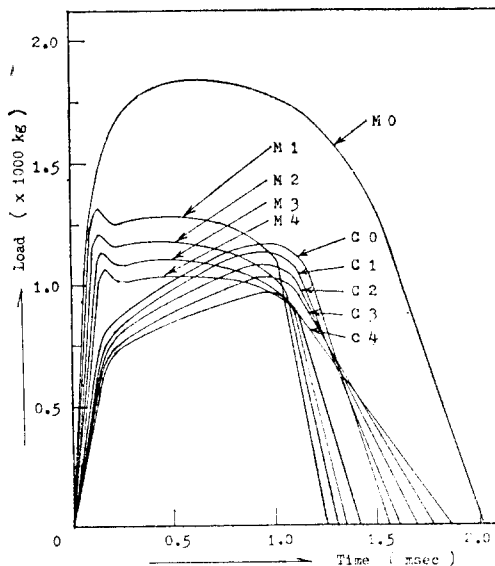


Fig. 2 Load-time curves of mild steel and 6 : 4 brass at impact velocity 0.94 m/sec.

熱處理하여 延性을 부여했을때의 荷重-時間曲線의 일 예인데, photo. 3 및 photo. 4와 같은 荷重-時間曲線

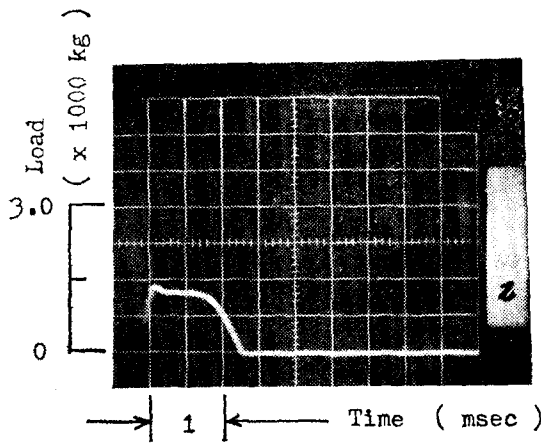


Photo. 2 Load-time curve of mild steel at impact velocity 0.94 m/sec. (M 1 series)

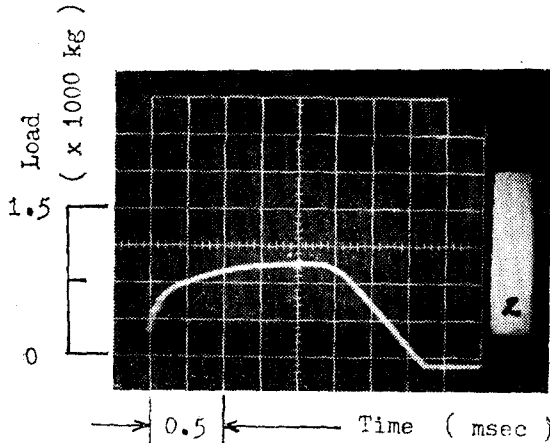


Photo. 4 Load-time curve of 6:4 brass at impact velocity 0.94 m/sec. (C 1 series)

을 각각 換算하여 그린 그림이다.

어니일링한 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材인 경우의 荷重-時間曲線에서는 대체적으로 衝擊降伏荷重이 나타나는데 比較하여, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材인 경우의 그것에는 衝擊降伏荷重이 뚜렷하게 나타나지 않고있다. 또 前者의 경우, 最大荷重은 荷重作用時間 t=0.1 msec 程度에서 나타나고 그값은 衝擊降伏荷重 값이되고, 後者의 경우, 最大荷重은 t=1 msec 程度에서 나타난다. 最大荷重이란 衝擊해머가 試驗片에 접촉하는 순간부터 접촉이 끝나는 순간까지 사이에서 Synchroscope에 나타난 荷重-時間曲線中 最大의 값을 나타내는點에 해당하는 荷重을 말한다.

M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材인 경우(Table 1 참조), 熱處理溫度가 높아짐에 따라서 즉, 引張強度, 硬度값이 낮아

짐에 따라서 衝擊荷重의 最大值는 낮아지고 있고, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材의 그것은 引張強度 및 硬度가 뚜렷하게 熱處理依存性을 나타내지는 않고 있으나 熱處理溫度順으로 낮아지고 있음을 알수있다. 또한 各재로 共히 衝擊荷重이 作用하는데 所要되는 時間은 대체적으로 어니일링溫度가 높은 순위 즉 延性이 增加할수록 많다. 그리고 荷重-時間曲線은 그材料가 갖는 機械的인 性質, 衝擊速度, 延性 %의 大小에 따라서 달라질것이다.

일례로서, 지지각도가 변화하면 충격속도가 변화하므로 지지각도의 變化 즉 충격속도 變化에 따른 荷重-時間曲線의 特徵을 살펴보면 다음과 같다. photo. 5는 M<sub>0</sub> 試驗片인 경우로서, 지지각도  $\theta=20^\circ, 50^\circ, 120^\circ$  인 경우(이때의 충격속도는 각각  $V=0.94\text{m/sec}, 2.29\text{m/sec}, 4.70\text{m/sec}$ )의 荷重-時間曲線과 각각 지지각도에 對應하는 試驗片의 形態이다. 曲線의 모양은 지지각도 즉 衝擊速度에 따라서 顯著한 차이를 나타낸다. 또한 그에 對應하는 破壞形態도 다르다는것을 觀察할 수있다. 특히 試驗片이 完全히 破斷되기 以前까지는 衝擊速度가 增加함에 따라서 衝擊荷重과 時間이 그리는 曲線의 面積은 점점 增加하고 最終破斷後의 그

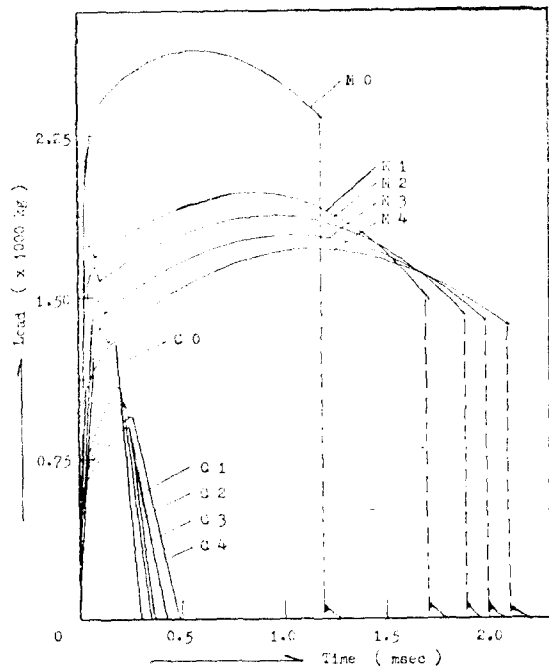
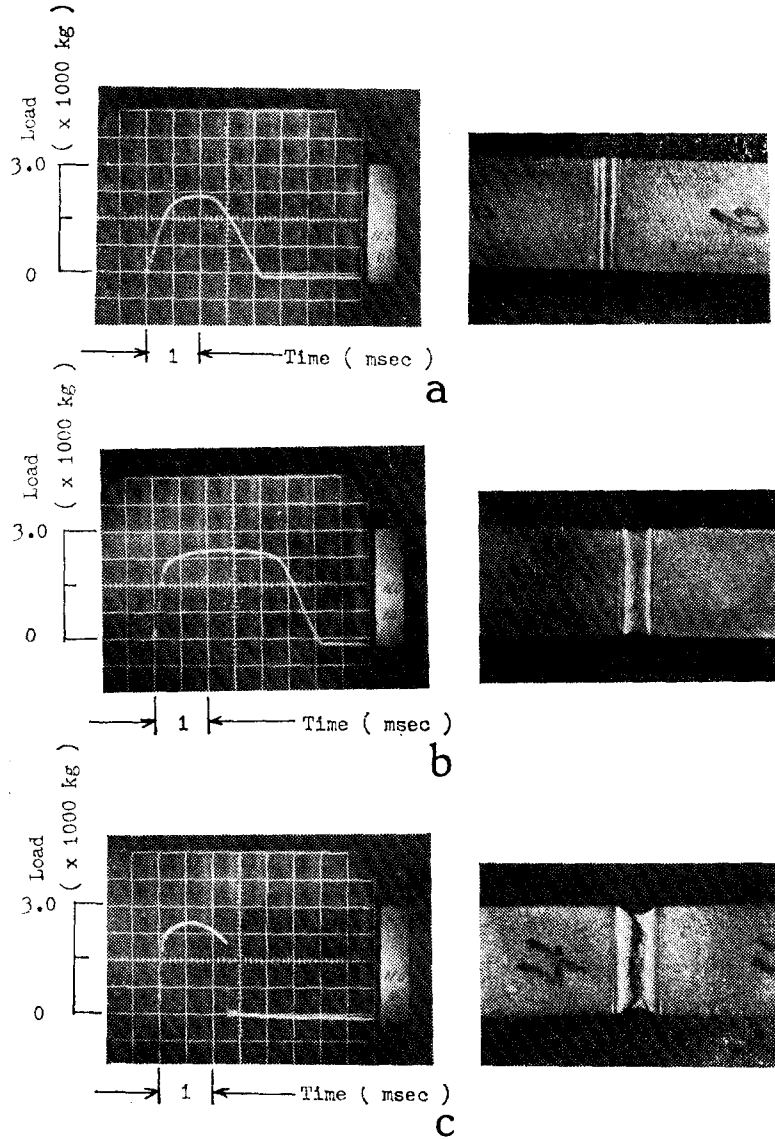


Fig. 3 Load-time curves of mild steel and 6:4 brass. (Impact velocity; mild steel 4.7 m/sec, 6:4 brass 4.15 m/sec)



**Photo. 5** Relation of load-time curves and macro fracture behavior of mild steel. (M 0 series)  
 a) Load-time curve (lifting angle  $20^\circ$ )      b) Load-time curve (lifting angle  $50^\circ$ )  
 c) Load-time curve (lifting angle  $120^\circ$ )

것은 급격히 감소한다.

따라서 最大荷重과 衝擊速度 및 破壞發生傳播舉動과는 밀접한 관계를 갖는다고 생각된다.

**3.2. 衝擊速度에 依存하는 最大荷重의 舉動**

本節에서는 衝擊速度를 變化시킴에 따라서 最大荷重은 어떻게 變化하는가에 대하여 고찰하였고, 또한 最大荷重과 材料가 가지는 機械的인 性質과는 어떠한

관계를 갖는가를 살펴보았다.

實驗은 Table 1에 제시한 각 試驗片을 대상으로 衝擊速度  $V=0.47\text{m/sec}$ 에서  $V=5.1\text{m/sec}$ 까지 等間隙으로 變化시키면서 最大荷重값의 變化舉動을 상세히 조사하였다.

Fig. 3은 Fig. 2와 같이 Synchroscope에 나타난 寫眞을 換算하여 얻은 Data로서, 衝擊速度  $V=4.7\text{m/sec}$ 에서 衝擊荷重과 時間과의 관계를 나타내는 그림이

다.

最大荷重은  $M_1, M_2, M_3, M_4$  材 및  $C_1, C_2, C_3, C_4$  材 共히 어니일링溫度가 높을수록 작을값을 나타내고 있다. 이와같은 결과는 Fig. 2에 제시한 衝擊速度  $V=0.94$  m/sec 下에서의 결과와 거의 일치한다. 즉 衝擊速度  $V=0.94$  m/sec 下에서의 最大荷重도 어니일링溫度가 높을수록 작을값을 나타낸다. 따라서 最大荷重은 衝擊速度값이 클수록 높아짐을 알수있다.

Fig. 4 및 Fig. 5 는 最大荷重의 舉動을 衝擊速度에 따라 詳細히 조사한 결과이다. 우선 Fig.4는  $M_1, M_2,$

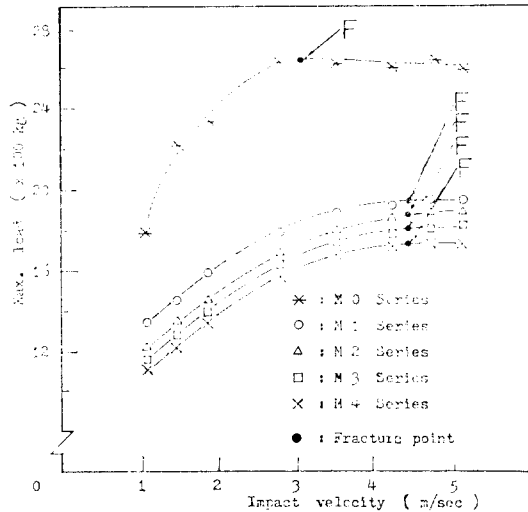


Fig. 4 Relation of Max. load-impact velocity of mild steel.

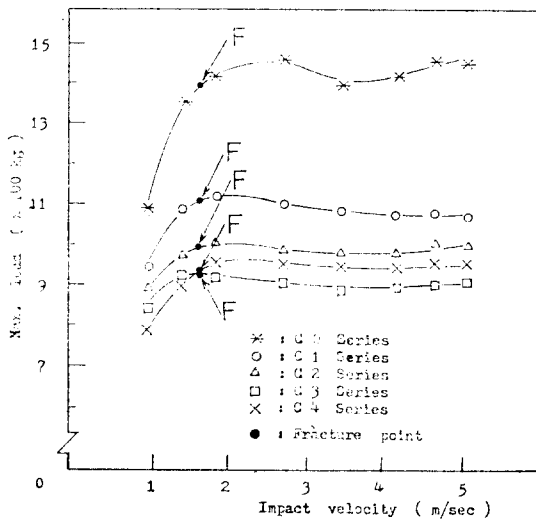


Fig. 5 Relation of Max. load-impact velocity of 6:4 brass.

$M_3, M_4$  材인 경우인데, 衝擊速度와 最大荷重과의 관계를 同時에 나타낸 그림이다. 그림內의 각點은 각각 한개의 試驗片을 나타내는 點으로서, 예를들면, 衝擊速度  $V=1$  m/sec 下에서  $M_1$  材의 最大荷重은 13.2kg,  $M_2$  材의 最大荷重은 12kg,  $M_3$  材의 그것은 8kg,  $M_4$  材의 그것은 6kg이다. 또한 그림內의 F 라는 記號는 각 시험片이 그점에서 最初破斷되었음을 나타낸다. 따라서  $M_1$  材의 경우, 最大荷重은 衝擊速度가 빨라질수록 最初破斷點까지는 上昇하고, 最初破斷點을 지나면 衝擊速度가 빨라지더라도 最大荷重은 거의 일정하다는 것을 알수있다.

이와같은 결과는 最大荷重의 大小에 差異는 있어도 어니일링하여 延性を 부여한  $M_1, M_2, M_3, M_4$  材에서 同一하게 얻을수있는 共通點이라고 생각된다. 또한 最初破斷點前까지의 最大荷重은 一定한 速度(예로서  $V=3.5$  m/sec)下에서  $M_1, M_2, M_3, M_4$  材順으로 낮아지며, 또한 一定速度(예로서  $V=5$  m/sec)下에서의 最初破斷後의 最大荷重도  $M_1, M_2, M_3, M_4$  材順으로 낮아지고 있음을 알수있다. 이상과 같은 결과는  $C_1, C_2, C_3, C_4$  材인 경우도 거의 同一하게 얻을수 있으나(Fig. 5 참조),  $M_1, M_2, M_3, M_4$  材와 比較하여보면  $C_1, C_2, C_3, C_4$  材는 最初破斷點에 해당하는 衝擊速度값이  $V=1.7$  m/sec 로서,  $M_1, M_2, M_3, M_4$  材의 最初破斷點에 해당하는 衝擊速度 값  $V=4.2$  m/sec 보다 훨씬 작다는 것을 알수있고, 또한 一定速度(예로서  $V=1.5$  m/sec) 下에서의 最大荷重값도,  $C_1, C_2, C_3, C_4$  材의 9.3kg, 9kg, 8.5kg, 8kg에 比較하여  $M_1, M_2, M_3, M_4$  材는 14.5kg 13kg, 12.8kg, 12kg 로서 差異가 있음을 알수있다.

이상과 같은 最大荷重의 舉動은 어니일링溫度가 높아짐에 따라서 각 試驗片의 갖는 延性%와 밀접한 관계를 가지고 있음을 알수있고 따라서 破壞靱性を 分析하기 위하여 各材料가 가지는 延性%에 따른 吸收에너지의 舉動을 조사할 필요가 있다.

### 3.3. 衝擊速度에 依存하는 吸收에너지의 舉動

本節에서는 衝擊速度가 破壞靱성에 미치는 영향을 檢討하기 위하여, 어니일링한 각 試驗片을 가지고 衝擊速度를  $V=0.47$  m/sec~5.1 m/sec까지 점차적으로 變化시켜가면서 破壞靱性を 代表할수 있는 吸收에너지의 舉動을 조사하였다.

Fig. 6에는  $M_1, M_2, M_3, M_4$  材인 경우의 衝擊速度와 衝擊에너지와의 關係를 정리한 결과를 나타낸다. 어니일링을 행하여 延性を 부여한  $M_1, M_2, M_3, M_4$  材

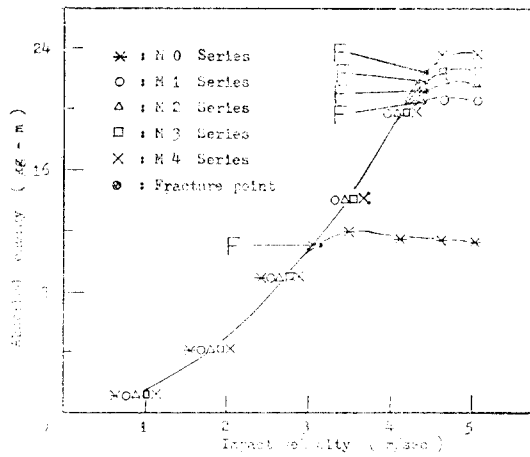


Fig. 6 Relation of absorbed energy-impact velocity of mild steel.

料 共히, 最初破斷點前까지(衝擊速度  $V=4.3$  m/sec 까지)의 衝擊에너지는 衝擊速度가 빨라질수록 점점 커지고, 最初破斷點後의 그것은 衝擊速度에 관계없이 거의 일정한 값을 갖는다.

또한 最初破斷點 ( $V=4.3$ m/sec)을 基準으로, 一定한 衝擊速度(일례로서  $V=3$  m/sec 인 경우)에서의 衝擊에너지는 어니일링을 행하여 延性を 부여한 材料의 種類에 관계없이 거의 一定한 값을 가지고 있는 反面에 最初破斷後의 一定한 衝擊速度(일례로서  $V=5$  m/sec 인 경우)下에서의 衝擊에너지는 어니일링溫度가 높을수록 커지고 있음을 알수 있다.

한편, C<sub>1</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材의 衝擊速度와 衝擊에너지의

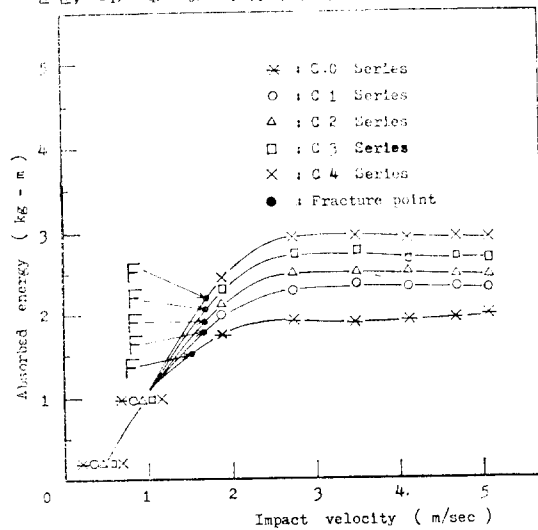


Fig. 7 Relation of absorbed energy-impact velocity of 6:4 brass.

관계를 Fig. 7에 나타낸다. 試驗片의 最初破斷點( $V=1.5$ m/sec 에서 破斷)을 基準으로, 衝擊速度  $V=0\sim 1.5$  m/sec 區間에서, 特別 어떤 一定速度下에서의 衝擊에너지값은 어니일링을 행한 材料의 種類에 관계없이 大體적으로 一定하다, 衝擊速度값이 最初破斷點의 速度값  $V=1.5$  m/sec 보다 높은경우, 一定速度下에서의 衝擊에너지값은 (일례로서  $V=3.5$  m/sec 일력), 어니일링溫度가 높을수록, 延性%가 많을수록 높아지는것을 관찰할수있다. 또한 最初破斷後의 衝擊에너지값은 Fig. 7에서 알수 있는 바와같이 衝擊速度( $V=3$ m/sec,  $V=4$ m/sec,  $V=5$  m/sec 등)에 관계없이 거의 一定하다는 것을 알수 있다.

以上과같은 測定結果에서, 最初破斷點을 基準으로, 最初破斷點까지의 衝擊에너지값의 變動은 각각 材料가 갖는 機械的인 性質과도 밀접한 關係를 갖는다. 일례로서 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材의 延率은 33.7%, 35.6%, 36.5%, 38.2%를 나타내는 反面, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材의 延率은 14.9%, 16.8%, 17%, 18.2%를 나타내고 있는데 (Table 1 참조), 大體적으로 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材의 延率이 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材의 그것보다 높다. 또한 最初破斷點까지의 衝擊에너지의 값은 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材의 경우가 크고, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材의 그것은 작다. 이와같은 結果를 比較하여보면 各材料 共히 破壞靱性を 代表할수 있는 衝擊에너지값은 그材料의 延率과 밀접한 關係를 가지고 있으며 어니일링을 행하여 延性を 부여하는 程度에 따라서 또는 衝擊速度에 따라서 衝擊에너지값이 달라지는것을 알수있다. 그러나 衝擊速度가 一定하면 衝擊에너지값은 一定하다고 하더라도 塑性變形量은 달라질수도 있다. 일례로서 photo. 6은 어니일링을 행하여 延性を 부여한 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材의 巨視的인 塑性變動領域을 測定한 寫眞의 일례이다. 이寫眞은 衝擊速度  $V=0.94$  m/sec인 경우에 촬영한것으로서 衝擊

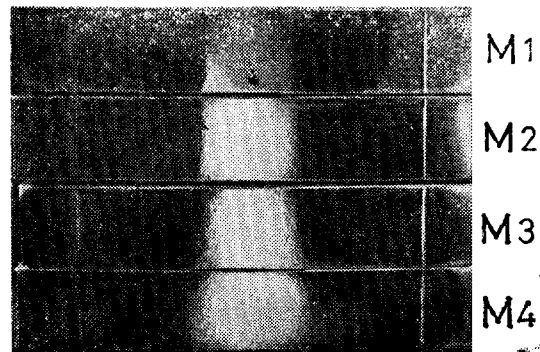


Photo. 6 Plastic deformation of mild steel. (impact velocity 0.94 m/sec)

에너지값은 各材料 共히 一定하나, 어니일링溫度가 높아질수록, 延率%가 많을수록 塑性變形領域의 크기는 一定하지 않다는 것을 암시해준다. 이점에 대한 詳細한 檢討는 추후의 과제이지만 試驗片의 變形 및 破斷을 일으키는 데 所要되는 全에너지는 彈性表面에너지와 塑性變形에너지와를 合한것과 같으므로 同一材料에 대하여 衝擊速度가 增加하더라도 全吸收에너지는 一定하다고 생각된다.

따라서 最終破斷前까지의 吸收에너지는 材料에 따라서 吸收에너지의 一部는 彈性表面에너지로, 다른 一部는 塑性變形 및 微視크랙을 發生시키는데 使用되는 塑性變形에너지 및 破斷에너지로 吸收되어 全體의 吸收에너지는 一定하며 또한 破斷後의 吸收에너지도 衝擊速度에 관계없이 一定하다는 것을 豫測할 수 있다. 또한 試驗片에 吸收된 全吸收에너지가 彈性에너지와 塑性變形을 위한 에너지와로 分配되는 %의 程度는 그材料가 가지는 金屬組織學的인 因子 및 破壞舉動과 밀접한 關係를 가지고 있다고 생각된다.

3.4. 衝擊速度에 따른 荷重作用時間과 試驗片 變形角度

本節에서는 衝擊速度가 變化함에 따라서 荷重作用時間은 어떻게 달라지는가 또는 衝擊速度가 變化함에 따

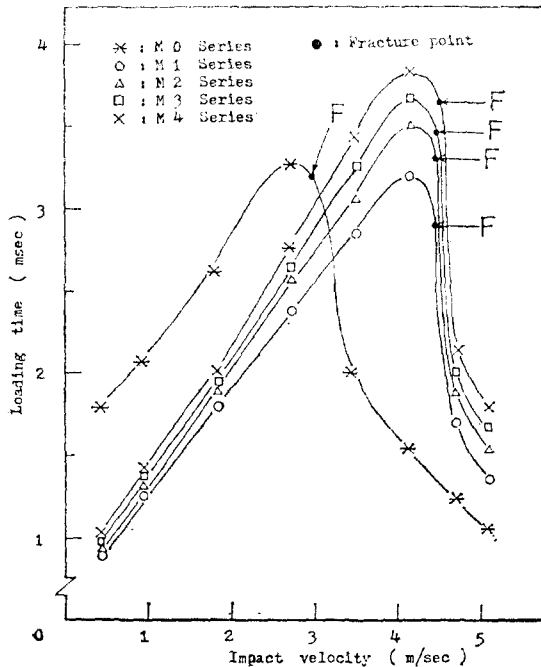


Fig. 8 Relation of loading time-impact velocity of mild steel.

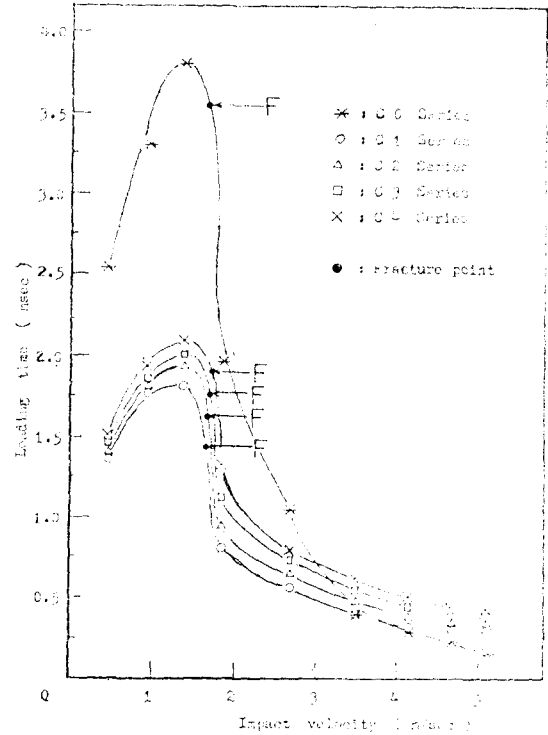


Fig. 9 Relation of loading time-impact velocity of 6:4 brass.

라서 荷重作用時間이 終了後의 試驗片 變形角度의 舉動은 어떠한가를 조사하였다.

Fig. 8과 Fig. 9는 각각 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材와 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材에 대하여 조사한 荷重作用時間과 衝擊速度와의 關係를 나타낸 그림이다. M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材인 경우 (Fig. 8 참조), 荷重作用時間은 衝擊速度 V=1 m/sec 일때, 1.25~1.5 m/sec 이고 衝擊速度가 V=3 m/sec 일때의 荷重作用時間은 2.5~3m/sec를 나타낸다. 특히 衝擊速度가 일정(예를들면 V=3 m/sec 인 경우) 했을때의 荷重作用時間은 어니일링溫度가 높을수록, 延率%가 높은 材料일수록 길게 나타나며, 同一材料라 하더라도 最初破斷前까지의 荷重作用時間은 衝擊速度가 增加함에 따라서 直線的으로 增加하고 最初破斷後의 그것은 급격히 떨어진다. 이러한 경향은 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材인 경우에도 찾아볼수있으나(Fig. 9), C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材인 경우는 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材의 경우와 比較하여 最初破斷前까지의 荷重作用時間이 짧다는 것을 관찰할수 있다. 즉, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材의 延率平均値 35%와 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材의 延率平均値 18%를 고려하여 보면 (Table 1 참조), 延率이 큰 材料일수록 最初破斷까지의 荷重作用時間은 길고, 또한 荷重作用時間



의 大小는 機械的인 性質과 밀접한 關係를 가지고 있음을 알수있다.

한편, 衝擊速度와 試驗片變形角度와의 關係를 Fig. 10, Fig. 11에 나타낸다. 이때의 試驗片의 變形角度라는것은 衝擊해머가 試驗片表面에 作用하기 以前의 試驗片 中心線과 衝擊해머가 試驗片에 作用하여 荷重作用時間이 끝난후의 變形된 試驗片의 中心線과의 이루는 角을 말한다. M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材인 경우의 變形角

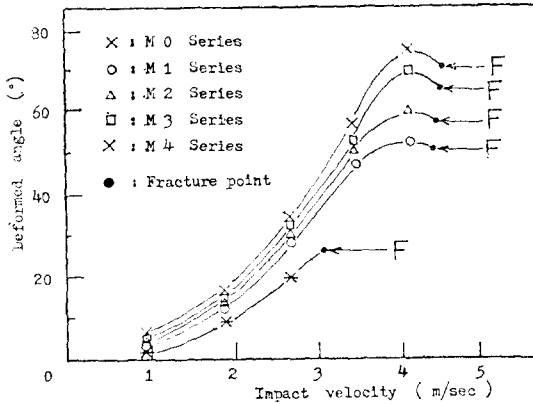


Fig. 10 Relation of deformed angle - impact velocity of mild steel.

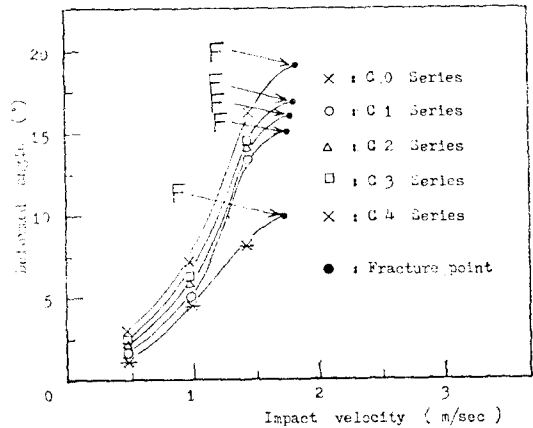


Fig. 11 Relation of deformed angle - impact velocity of 6 : 4 brass.

度는 衝擊速度가 增大할수록 커지며 또한 衝擊速度가 一定하다고 하더라도 (일례로서  $V=3$  m/sec 인 경우) 어니일링溫度가 높을수록 (Table 1 참조) 變形角度는 커지는 경향을 볼 수 있다.

이러한 變形角度의 크기는 衝擊速度가 빠를수록 最初破斷을 일으키는 點을 中心으로 最初破斷直前에서 最大가 되며 衝擊速度가 느릴수록 變形角度는 0에 가

까워진다. 이와같은 경향은 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材에서도 마찬가지이다 (Fig. 11 참조). 그러나 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材인 경우, 最初破斷까지의 衝擊速度값은 약  $V=1.5$  m/sec 로서 이값은 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材의 最初破斷까지의 衝擊速度값 ( $V=4.5$  m/sec) 보다 훨씬 작은값을 나타내는게 특징이다. 이러한 차이점에 대해서는 현재 검토중이다.

이상과 같은 實驗結果를 綜合하여보면 荷重作用時間과 變形角度는 衝擊速度의 大小에 따른 吸收에너지의 大小에 따라서 결정된다. 또한 同一材料이고 衝擊速度가 일정하다고 하더라도 그材料의 延率이 높을수록 荷重作用時間과 變形角度는 增加한다.

### 3.5. 衝擊速度의 大小에 따른 破壞舉動

本節에서는 衝擊速度의 大小와 破壞舉動과의 關係를 조사하기 위하여 우선 衝擊速度에 따른 破斷面의 形態를 조사하였다. photo. 7 과 photo. 8 은 M<sub>1</sub> 材와 C<sub>1</sub> 材의 破斷面의 일례이다. M<sub>1</sub> 材의 破斷面 (photo. 7 참조)은 衝擊速度  $V=5.1$  m/sec 에서 얻은것으로서, 그것은 Fibrous(F), Clavage(C), Shear lip(S.L) plastic hinge (P.H)로 구분되는데<sup>(15)</sup> 비하여 C<sub>1</sub> 材인 경우의 그것은 (Photo. 8 참조) 衝擊速度  $V=4.7$  m/sec 에서 얻은 것으로서 破斷面은 M<sub>1</sub> 材의 경우처럼 破斷形態가 명확히 구분되지는 않으나 Cleavage 領域이 대부분이고 Fibrous 領域은 아주 적게 관찰된다. 이와같은 觀察結果를 考慮하면 延性이 增加됨에 따라서 破斷面에 나타나는 Cleavage 領域은 작아짐을 알수있다.

한편, 以上과 같은 破斷面을 갖는 各 試驗片을 준비하고 衝擊速度를 바꿔가면서 試驗片 表面에 發生하는 크랙의 舉動을 조사하였다.

photo. 9 와 photo. 10 은 一定한 衝擊速度  $V=0.94$  m/sec 下에서의 試驗片 表面에 發生한 微視크랙의 일례이다. M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材의 吸收에너지의 값은 4材料 共히 1.01 kg-m 이고, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材의 흡수에너지의 값도 4材料 共히 1.01 kg-m 이다.

M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> 材의 경우, 微視크랙은 어니일링溫度가 높은材料일수록, 延性%가 높은 材料일수록 試驗片의 表面全域에 슬립을 동반하여 많이 發生한다. 이와같은 슬립을 동반한 微視크랙은 퍼얼라이트 組織보다는 페라이트組織內에 比較的 많이 發生하며 특히 퍼얼라이트 結晶粒境界에는 슬립集中現象을 일으키고 있음을 관찰할 수 있다.

한편, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 材인 경우(photo. 10), 어니일

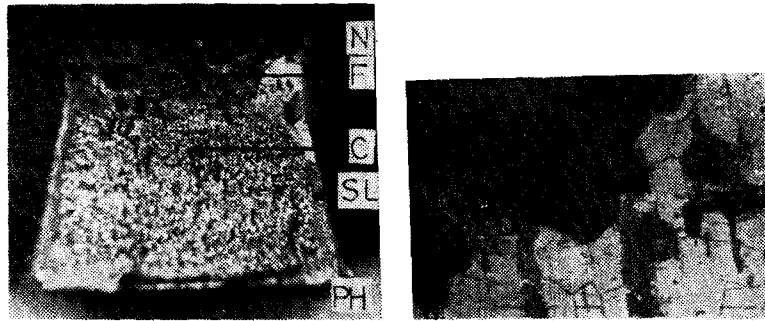


Photo. 7 Geometry of final fracture. (M 1 series, Impact velocity 5.10 m/sec)  
N=notch, F=fibrous, C=cleavage, RL=shear lip, PH : plastic hinge.

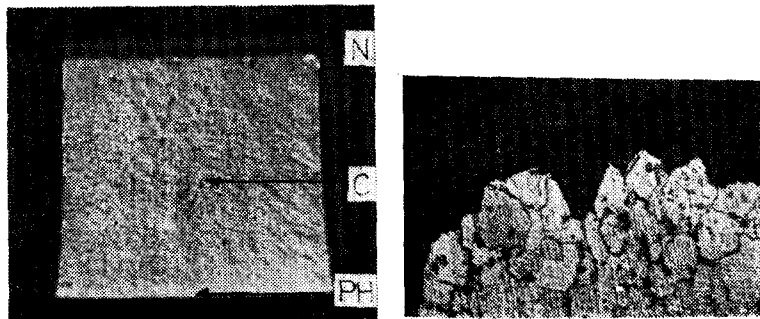


Photo. 8 Geometry of final fracture. (C 1 series, Impact velocity 4.7 m/sec)  
N=notch, C=cleavage, PH=plastic hinge



Photo. 9 Illustration of crack initiation of mild steel. (Impact velocity 0.94 m/sec)  
a) M 1 series    b) M 2 series    c) M 3 series    d) M 4 series

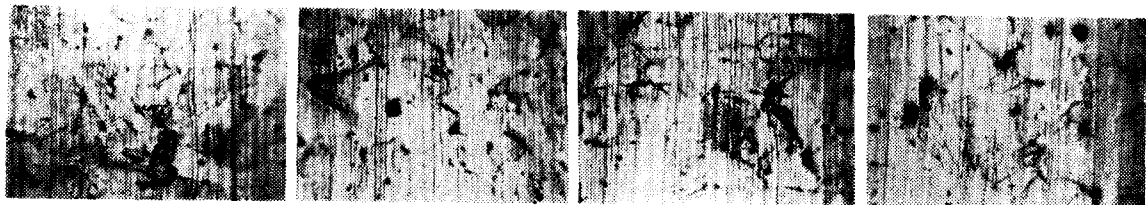


Photo. 10 Illustration of crack initiation of 6:4 brass. (Impact velocity 0.94 m/sec)  
a) C 1 series    b) C 2 series    c) C 3 series    d) C 4 series

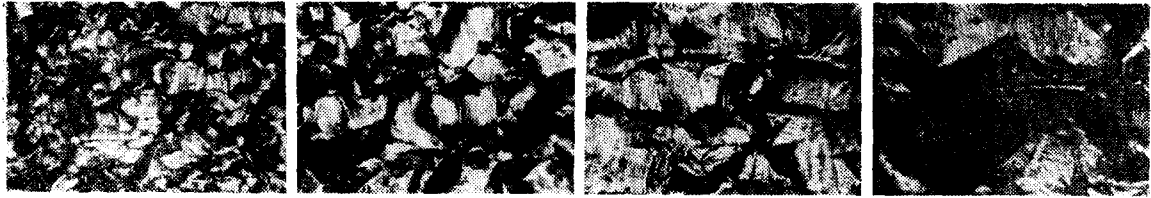


Photo. 11 Illustration of crack initiation and propagation of mild steel. (Impact velocity 1.10 m/sec)  
a) M 1 series    b) M 2 series    c) M 3 series    d) M 4 series

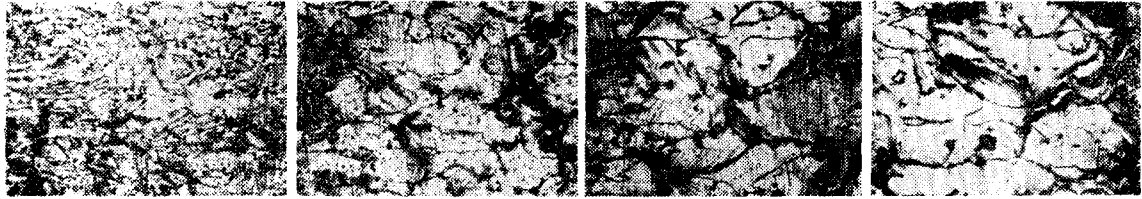


Photo. 12 Illustration of crack initiation and propagation of 6:4 brass. (Impact velocity 1.10m/sec)  
a) C 1 series    b) C 2 series    c) C 3 series    d) C 4 series

링溫度가 높은 材料일수록 延性%가 높은 材料일수록 微視크랙은 試驗片表面全域에 슬립을 동반하여 發生하지만 이를 發生되는 슬립 및 微視크랙의 密度는  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$  材와 比較하여보면 數는 매우 낮다. 이러한 슬립을 동반한 微視크랙은,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  材를 이루고 있는  $\alpha$ 相과  $\beta$ 相의 混合組織中에서 觀察되는데 주로  $\alpha$ 相內에서 發生傳播하고 특히 이러한 微視크랙中 선택된것은  $\beta'$  相境界에서 슬립集中現象을 일으키고 있음을 관찰할수있다.

以上은 衝擊速度  $V=0.94$  m/sec 인 경우의 觀察結果인데 比하여, photo. 11 및 photo. 12는 上述한 衝擊速度  $V=0.94$  m/sec 보다 큰  $V=1.4$  m/sec인 경우의 일예이다. photo. 11은  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$  材의 일예이고 photo. 12는  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  材의 일예이다. 微視크랙은 各材料 共히 衝擊速度  $V=0.94$  m/sec 인 경우의 그것과 거의 같은 舉動을 나타낸다. 그러나 슬립을 동반한 微視크랙의 密度의 차이는 있으나 微視크랙은 점점 굵어지고, 길이도 길어지며 또한 選擇된 微視크랙들이 서로 連合되어 傳播하는 形態로서 發生傳播되고 있음을 觀察할수 있었다.

따라서 衝擊速度가 增加할수록 微視크랙의 發生傳播는 最大荷重, 荷重作用時間, 吸收에너지程度, 그材料가 갖는 金屬組織의인 因子와도 밀접한 關係를 갖는다고 생각된다. 이와같은 衝擊速度變化에 따른 크랙舉動에 대해서는 좀더 具體적이고 定量的인 檢討가 요망된다.

#### 4. 結 論

複合組織材의 破壞舉動과 破壞靱性を 檢討하기 위하여 一般構造用鋼材 (SM28C) 및 6:4 黃銅을 試驗片으로 準備하고, 이 試驗片에 어니일링을 行하여 延性を 부여한후 衝擊速度에 따른 破壞舉動과 吸收에너지의 舉動을 조사하였는데 얻어진 結果는 다음과 같다.

(1) 最大荷重은 衝擊速度가 커질수록 增加하는데 일정한 衝擊速度下에서의 最大荷重은 延性%가 增加할수록 낮아진다.

(2) 吸收에너지는 衝擊速度가 커질수록 增加하나 一定한 衝擊速度下에서의 吸收에너지는 延性%가 增加하더라도 一定하다.

(3) 퍼얼라이트와 페라이트의 混合組織인 경우의 微視크랙은 주로 페라이트內에 슬립을 同伴하여 發生傳播하고, 퍼얼라이트境界에는 슬립集中現象을 일으킨다. 한편  $\alpha$ 相과  $\beta$ 相의 混合組織인 경우의 微視크랙은 주로  $\alpha$ 相內에서 發生傳播하고  $\beta'$  相境界에서의 슬립集中現象은 觀察할수없었다.

#### 後 記

본 연구는 1980년도 문교부 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며 이에 감사하는 바입니다. 또한 연구수행에 협조하여준 高麗大學校 應用力學研究室學生諸君 및

忠南大學校 機械設計科 여러분에게 感謝드립니다.

參 考 文 獻

- (1) S.T. Rolfe, J.M. Barsom : Fracture and Fatigue Control in Structures, Prentice-Hall, (1977), p 92
- (2) A.S. Tetelman and A.J. McEvily, Jr. : Fracture of Structural Materials, Wiley, (1967), p 114
- (3) 小林俊郎, 日本金屬學會誌, Vol. 12-8, (1973) p546
- (4) 高井耕一外 2名, 日本金屬學會誌 Vol. 30-7, (1966), p 700
- (5) 廉永夏, 大韓機械學會誌 Vol. 7-1, (1967), p 1
- (6) 作井誠太外 2名, 日本金屬學會誌, Vol. 28-11, (1964), p 717
- (7) 森勉外 2名, 日本金屬學會誌, Vol. 28-6, (1964), p 325
- (8) A.H. Cottrell, Trans, AIME, Vol. 212 (1958), p 192
- (9) N.J. Petch, J, Iron andSteel Inst., Vol. 174-3, (1953), p 25
- (10) 大森 外 2명, 鐵と鋼, Vol. 45, (1959), p 415
- (11) 廉永夏, 大韓機械學會誌, Vol. 9-2, (1969), p 13
- (12) J.D. Campbell and J. Harding. Int. Science publisher, (1961), p 51
- (13) G.T. Hohn, A. Gilbert, JISI, Vol. 202, part 8, (1964), p 121
- (14) 作井誠太, 森勉, 日本金屬學會誌, Vol. 28-9 p 537.
- (15) 吉田亨, 金屬材料, Vol. 14-12, マクロ, (1970), p 9