

技術資料

抗張力과 硬度 사이에 高潮되어 가고 있는 緊迫感**

朴利潤*

The Growing Tension Between Tensile and Brinell

L. Y. Park *

鑄物을 판단하기 위한 標準이 너무 狹小하고 또한 간혹 設計者에 의하여 鑄物의 使用 範圍가 좁아지고 있는바, 鑄物의 特性을 測定하고 證明할 수 있는 광범위한 材料 試驗의 積極적인 方法이 要求된다.

오래 전부터 鑄物의 物性을 測定하여 鑄物의 利點을 利用할 수 있었으며, 오랜 세월동안 장인들은 이의 物性을 利用하여 우리가 더없는 技術과 經驗을 認定할 수 있는 藝術品을 창작하였다.

오늘에 와서는 우리는 同一한 藝術的 技巧과 유용성의 결합으로 똑 같은 材料를 쓰고 있으나, 단지 다른점은 經濟的 生産工程, 더 새로운 標準 規格과 문서화된 工程管理로서 現代的 設計를 結合시키는 것이다.

鑄物 生産者와 고객 사이에 鑄物을 좀더 간결하게 정의키 위한 시도과정에서, 2가지의 基本的 標準의 不適切한 연결이 논쟁의 軸점으로 분출되어 왔다. 양쪽 즉, 強盜(ASTM 規格)와 硬度(SAE 規格)를 뚜렷하게 規定키 위한 顧客들의 경향이 性能(高強度), 加工性에 對한 製造 生産 要求(低硬度)와 용이하고 저렴한 品質 調査 方法들을 要求하게 되었다.

耐 磨 耗 用 에 서, 혹 은 熱 處 理 가 必 要 할 때, pearlite의 組 織(조 직)이 나 타 날 수 있 다. 간 혹 이 러 한 要 求 가 상 호 충 돌 되 는 결 과 로, 鑄 物 工 場 과 客 客 이 가 질 수 있 는 경 쟁 적 인 강 점 이 위 태 롭 게 되 며, 鑄 物 의 전 반 적 인 설 계 이 점 을 실 현 시 켜 수 없 게 된 다.

이 글은 일반적으로 넓게 사용되는 검사 기술을 명확하게 하기 위함이며 또한 鑄物의 活用度를 배가시키고 성장시키기 위해 협의와 이해를 위한 새로운 광장을 제공키 위한 것이다.

鑄物 그룹

實은 鑄物은 넓은 範圍의 物性을 지니고 있는 큰 材料集團이다. 白鑄鐵은 鑄物을 分쇄하는 鎊의 liner用으로 使用하기도 하고, piston의 耐 磨 耗 用으로도, 2000°F 以上의 燃 燒 溫 度와 耐 力 에 도 견 디 며, 同 時 에 振 動 과 소 음 에 도 견 디 수 있 다. 球 狀 黑 鉛 鑄 鐵 인 steering knuckle은 過 重 한 負 荷 에 마 치 鍛 造 鋼 과 조 립 물 처 럼 휘 어 진 다.

鑄物의 이러한 서로 다른 物性은 硬度的 變化로부터 기인하는 것이 아니라 (a)金屬組織에서의 현미경 조직상의 差異點 (b) 黑鉛의 크기, 형태 및 분포 (c) 本質的인 結合問題와 (d) 化學成分들도 부터 起 因하는 것이다.

鑄鐵의 그룹은 그림1에서 아주 간단하게 立體的 그리드 모델(grid model)로 表示한것과 같이 金屬과 微粒子의 構成材料로 되어있다. 實際的으로, 명

* 釜山鑄工(株)

** Jay Janowak, A Alagarsamy Grede Foundries, INC, Milwaukee, WI : Modern casting vol. 80(1990) No. 1, 44-47. 의 번역된 내용임.

확한 限界는 없지만, 카본相(carbon phase)은 圖式的으로 物性에 대해 카본의 영향을 강조하기 위한 方法으로 묘사하였다.

鑄鐵에서 相과 構成要素들을 표1에서 이것들의 硬度나 일반 工具 材料의 것과 同時에 나열하였다. 이러한 광범위한 재료를 調査할 수 있는 硬度 調査 方法이 없는데, 브리넬 硬度로 測定할 수 있을 것으로 기대하면서 외삽법에 의해 추정된 것이다.

單相 예로 ferrite가 넓은 범위로 分布되어있는 硬度는 化學成分의 差異點으로 發生되며, 이의 例로서, 2.7% Si의 ferrite 球狀黑鉛鑄鐵에서 0.2% Si 상승이 브리넬 경도 10정도를 올려준다. 相의 混合 狀態가 거의 一般的이며, 混合 비율은 일정치 않다. 이는 特定한 경도치를 얻는 데는 많은 상이한 方法이 있음을 의미한다.

鑄物工場에서 鑄造 設計, 工程과 熱處理 모두가 鑄物의 上記 構成 要素의 形狀, 量 및 分布에 영향을 미친다. 또한, 이러한 이유로 인하여, 주물의 物性에서도 큰 영향을 미치는 바, 鑄造 工場에서 適切한 工程 管理를 통하여 重要한 物性이 再現될 수 있다.

硬度 測定

硬度측정은 材料産業에서 工程管理 및 品質 保證에서 一般的인 方法인 데 이는 直接的으로 機械的 性質과 製造上의 特性에 關係가 있다. 그러나, 材料産業은 特히 上記에 언급한 바와 같이 鑄鐵의 構成

TYPES AND SHAPES OF CARBON-RICH PARTICLES IN THE SPECIFIC CAST IRON				
BULK MATRIX METAL MICROSTRUCTURE		CARBIDE	FLAKES SPHERES	
	FERRITE			HIGHEST STRENGTH DUCTILITY
	PEARLITE		STRONG MACHINABLE SELF-DAMPING GOOD WEAR	
	MARTENSITE	HIGHEST WEAR RESISTANCE		
		WHITE	GRAY DUCTILE	
TYPES OF CAST IRON				

그림1. 鑄鐵의 그룹과 鑄鐵이 지니고 있는 유효 物性 範圍.

Constituent	Range of Relative Hardness
Hole	0
Graphite	20-50
Ferrite	100-250
Austenite	100-400
Pearlite	250-400
Acicular	300-500
Austempered	250-600
Martensite	200-700
Steadite	500-1000
Carbide	1000-2000
Non-Metallic Inclusions	0-2500
Tool Materials	
Hardened Steel	600-800
Sintered Carbide	1500-2000
Silicon Carbide	2000-3000
Diamond	7000-8000

표 1. 주철에서의 일반적인 현미경적 구성요소와 공구 재료와 비교된 이들의경도치

性質의 觀點에서, 너무나 많이 要求되어지고 있는 形편이다.

鑄造 生産업체와 고객사이의 가장 밀접한 것은 Brinell硬度이며 다음으로 Rockwell(Rc)경도다.

Brinell硬度는 材料에 금속볼을 눌러주어, 이의 자국의 크기를 測定하여 이것을 Brinell硬度수치로 환산하는 것이다. 이 볼의 자국은 사람의 눈으로 볼 때는 아주 작아 보이지만, 금속의 현미경 조직상으로는 굉장히 크다.

그림 2와 같이 볼과의 接觸 面적은 상당히 넓은 현미경적 구성요소들을 가지고 있어, 이의 測定 方法은 일종의 포괄적인 方法이기 때문에 正確하게 材料의 物性에 害로운 것과, 利로운 少量의 相

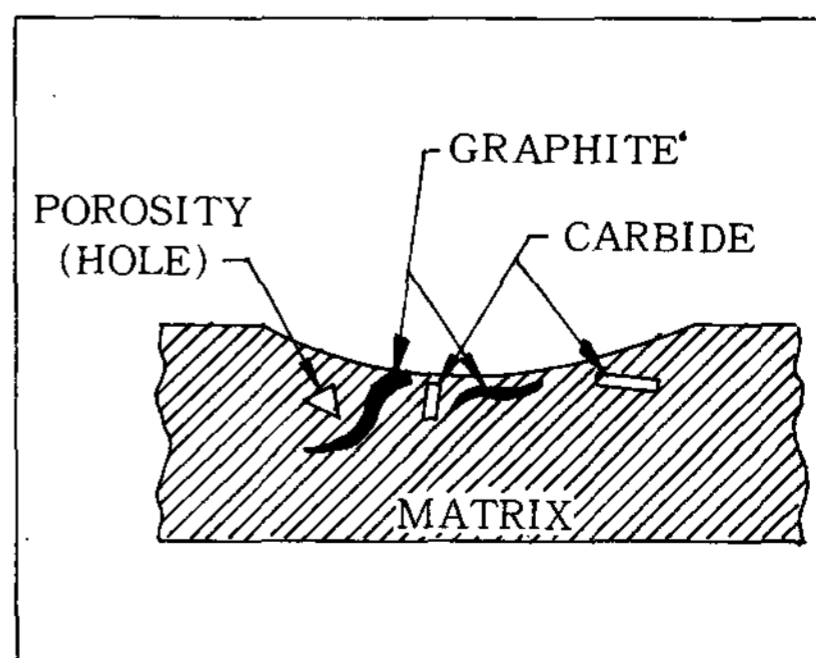


그림2. 圖式的으로 현미경적 구성요소에 관한 경도 자국.

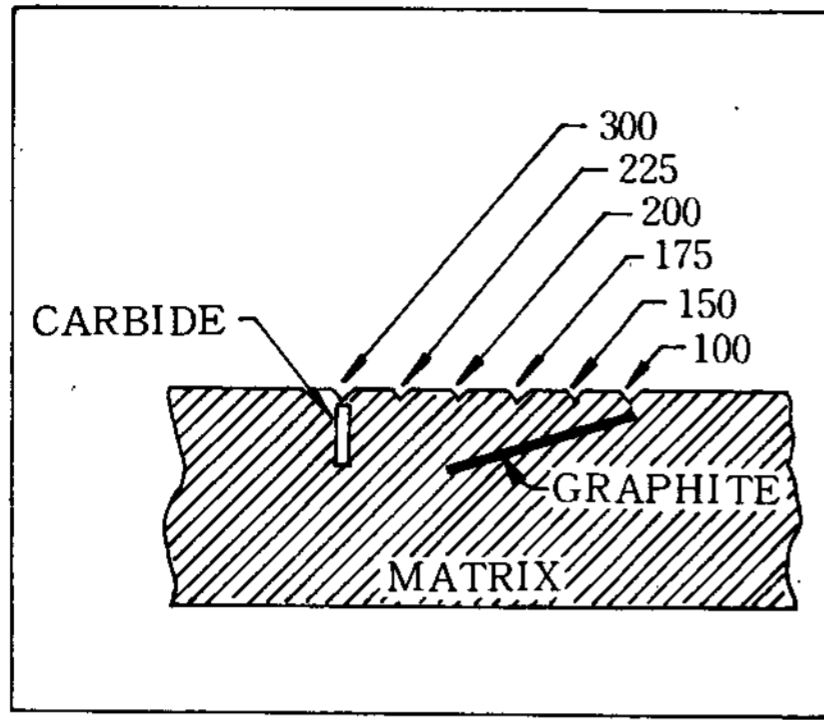


그림3. 미시적 구성요소에 관한 미시적 경도 자국의 圖式的 표현

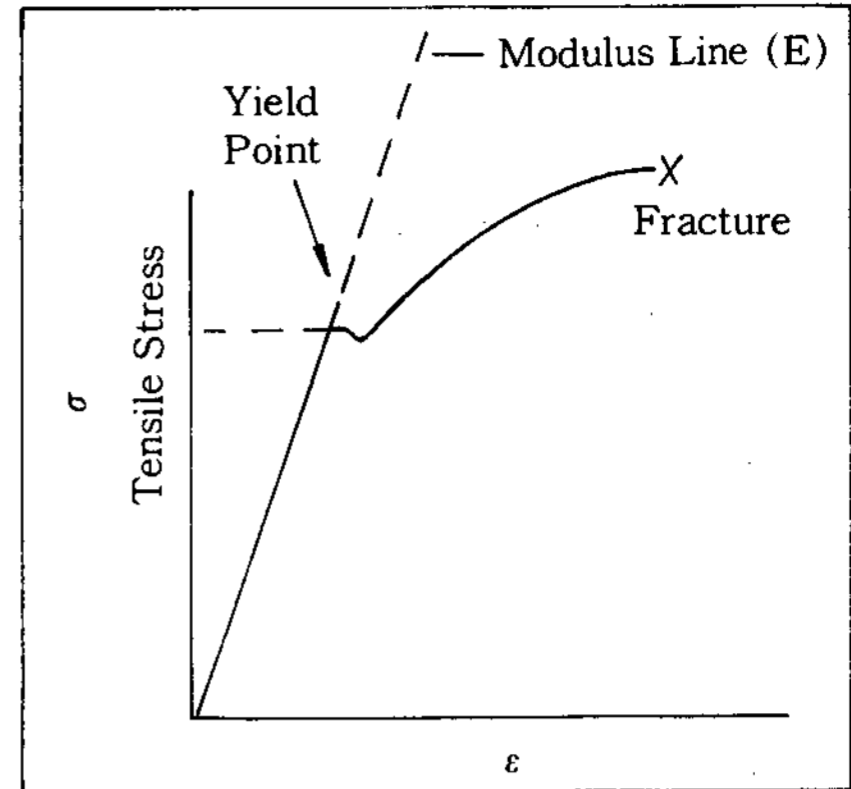


그림 4. 전형적인 鋼의 stress/ strain 곡선.

(phase)의 出現을 구체적으로 調査할 수 없다. 부가적으로 상당한 要因들이 Brinell경도의 정확성에 영향을 미친다.

- 샘플의 表面도와 준비방법
- 샘플의 크기, 두께와 경도범위
- 샘플의 支持方法
- 硬度 測定器의 荷重의 變化方法
- 測定者의 測定方法
- 直徑의 정의방법
- 測定기구의 정확도
- 表面으로 부터 그라인다로 갈아낸 量(表面效果)
- 測定時의 샘플 溫度

미시적 경도기 즉 Knoop, Vickers는 特定한 組織부분 혹은 粒子 硬度를 더 정확하게 測定할 수 있으나, 표면 하부 즉 그림.3에 예시한 바와 같이, 여러 문제점으로 인하여, 정확하게 測定할 수 없으나, 管理 方法上으로 범주에서 벗어나는 것은 除外시키면서 많은 部位를 測定하여 補完할 수 있다.

適切히 이러한 方法으로 수행했을 때 硬度數値는 材料의 物理的 性質 및 製造工程調節에도 값어치있는 指針이 될 수 있고, 硬度는 많은 方法으로 測定되며, 한 鑄物에서 部位별로 硬度 變化가 있다는 것이 아주 중요하며, 이러한 理由로 因하여, 부가적으로 적절한 측정과 이의 조절이 特定한 重要 物性を 決定하는 데 必須的이다.

引張強度

鑄鐵의 引張強度는 鋼에서 사용하는 동일한 기계를 사용하여 測定되지만 이의 方法과 結果는 아주

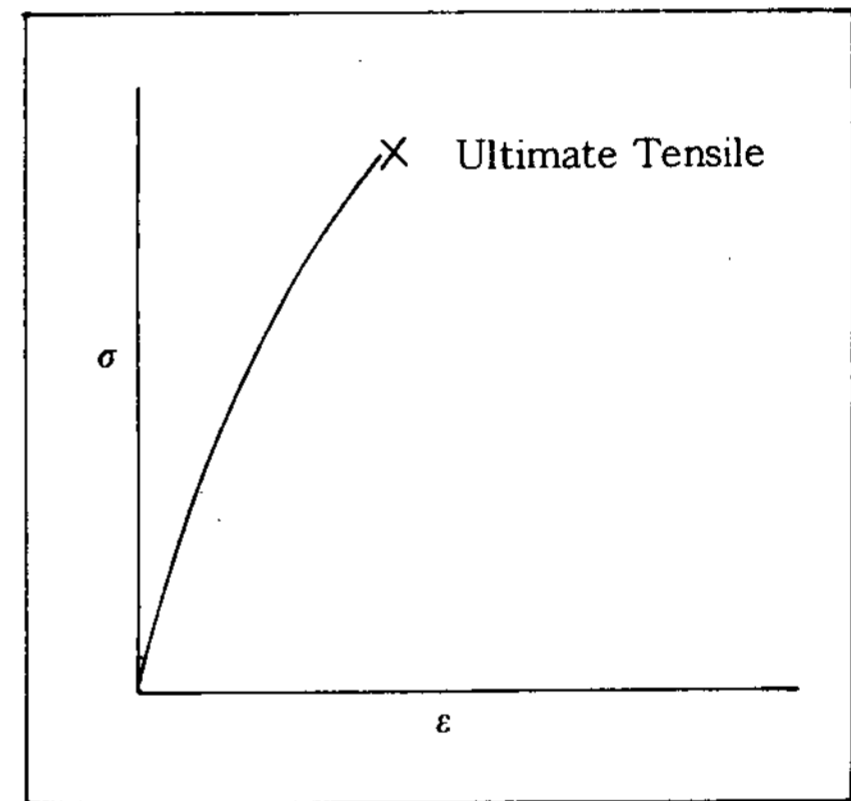


그림5. 전형적 회주철의 stress/ strain 곡선.

다르며, 시편이 파열될 때까지 당겨진다. 경과 과정은 延伸率의 X軸에 따라 荷重이 Y軸에 표시되며 그림.4는 전형적인 鋼의 例다. 항복점이 이 커브에서 뚜렷하게 나타나며, 이 항복점에 도달한 후, 試片이 영구변형을 가지며, 이의 量은 延性和 강인성에 따라 다르다.

鑄鐵의 커브에서는 이와 같이 명확한 항복점을 볼 수 없으며, 그림.5가 주철의 전형적인 커브를 나타내며, 회·백주철에서는 活用할 수 있는 延성이 없다. 그러나, 球狀黑鉛鑄鐵에서는 탄성적으로 늘어나며, 그 이후 영구 변형이 일어나고 최종 파단정에 시편의 단면적이 적어진다. 구상흑연주철의 전형적인 곡선은 그림.6과 같으며 鋼과 달리 명확한 항복점을 볼 수 없다.

항복강도는 永久 變形이 發生되는 좌표점을 만들어서 계산되어진다. 일반적으로 stress/strain곡선의 경사도에 0.2% offset 평행선을 그어 교차하

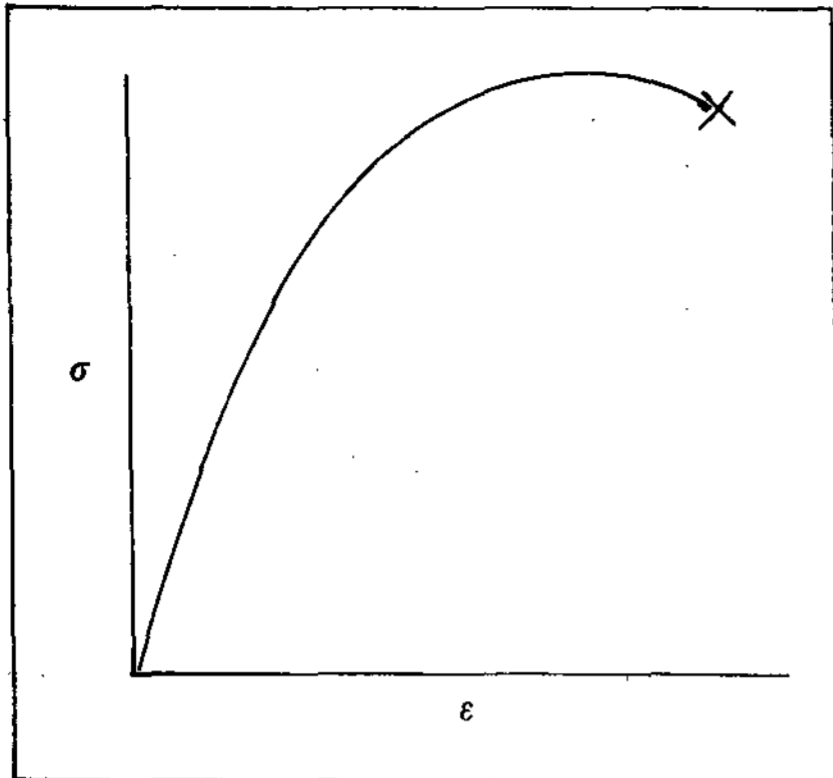


그림6. 전형적 구상흑연 주철의 stress/strain 곡선.

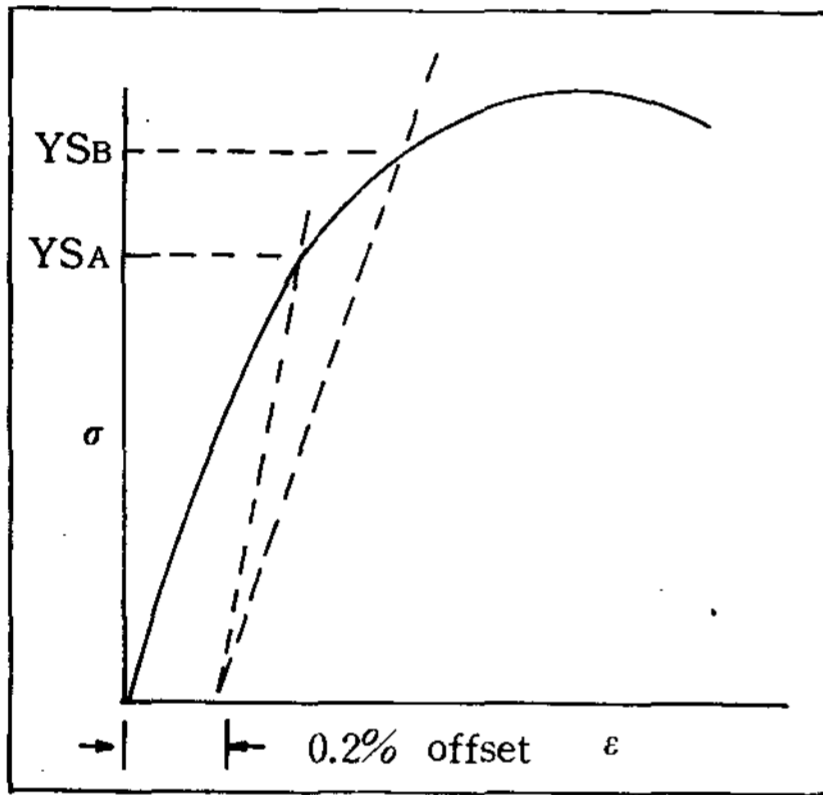


그림7. 구상흑연 주철에서 항복강도 계산의 편차 변화.

는 점을 만들어 계산할 수 있으나, 경사도 선택은 항복강도 결정에 있어서 본질적인 測定 偏差가 있기 때문에, 主觀的일 수도 있다. 그림.7은 YSA와 YSB사이의 편차 발생으로 항복강도가 5%차이가 쉽게 날 수 있다는 것을 경사도 편차에 의해 표시한 것이다.

ASTM 규격

주철에 대한 ASTM규격은 鑄造工場과 구매자 간의 관련 업무를 수행하기 위한 기본을 제시한 것이다. ASTM주철 규격은 다양하지만 상당히 유사하다. 거의 모든 경우에서, 引張強度 규격은 실 주물을 주입한 대표할 수 있는 용탕으로 별도로 주입하여 만든 주철봉으로 만들어 졌다. 이것이 “金屬 資格 標準”이다

Class	Tensile Strength Minimum, psi
20B	20,000
25B	25,000
30B	30,000
35B	35,000
40B	10,000

표 2. ASTM A48 회주철 주물

Grade	Tensile Strength minimum psi	Yield Strength minimum psi	Elongation in 2 in minimum %
60-40-18	60,000	40,000	18
65-45-12	65,000	45,000	12
80-55-06	90,000	55,000	6
100-70-03	100,000	70,000	3
120-90-02	120,000	90,000	2

표 3. ASTM A536 구상흑연주철주물

샘플 주물, 工程과 방법이 一定함으로 써 용탕이 최저, 시험편의 物性을 만족시킬 것이다. 현명하고도 정확한 것은, 이규격은 實鑄物과 試片의 인장강도 관계가 절대적이 아니라, 주물의 구조, 칫수(두께), 공정, 진행 과정, 실행, 조절등에 따라 변화된다는 것을 알 수 있다. 이러한 관계는 단지 실험적으로 입증될 수 있다. 표 2.3의 규격은 일반적인 회주철과 구상흑연주철을 대표하며 硬度는 규제되어 있지 않다.

SAE 규격

SAE주철 규격은 회주철, 구상흑연주철용으로

Grade	Casting Hardness Range(HB)
G1800	187max
G2500	170-229
G3000	187-241
G3500	207-255
G4000	217-269

Grade	Casting Hardness Range(HB)
D4018	170max
D4512	156-217
D5506	187-255
D7003	241-302
DQ&T	Range Specified

표 5. SAE J4346 자동차용 구상흑연주화주물

표 4,5에서 표시된 것과 같이 주철 brinell경도를 기본으로 하고 있으며, 이는 대량 생산용의 자동차 용 규격이며, 이의 關心은 性能, 物性과 加工性(生産性)의 양면 보증이며, 이 표의 略號(약호)가 ASTM등급에 관련된 번호를 가지고 있다.

이 표에서 브리넬 硬度和 引張強度 사이가 絶對的 關係가 있다는 것을 臆지사 비추고 있다. 그러나, 이의 表現은 경도 범위를 위한 전형적인 物性を 精確하게 강조하는 것이며, 브리넬 硬度和 物性, 혹은 特性과의 關係는 統計的으로 實證하는 것이지, 推定하는 것은 아니다.

引張強度와 브리넬 硬度和의 關係

여러 문헌에서는 引張強度와 브리넬 硬度和 사이에 直線的인 關係가 있다고 하지만, 더 實質的인 문헌에서는 散發띠 形態로 나타나는 데, 이는 化學成分, 製造 工程의 變化와 測定 誤差때문이다

그림 8이 ASTM의 keel block으로 부터 채취한

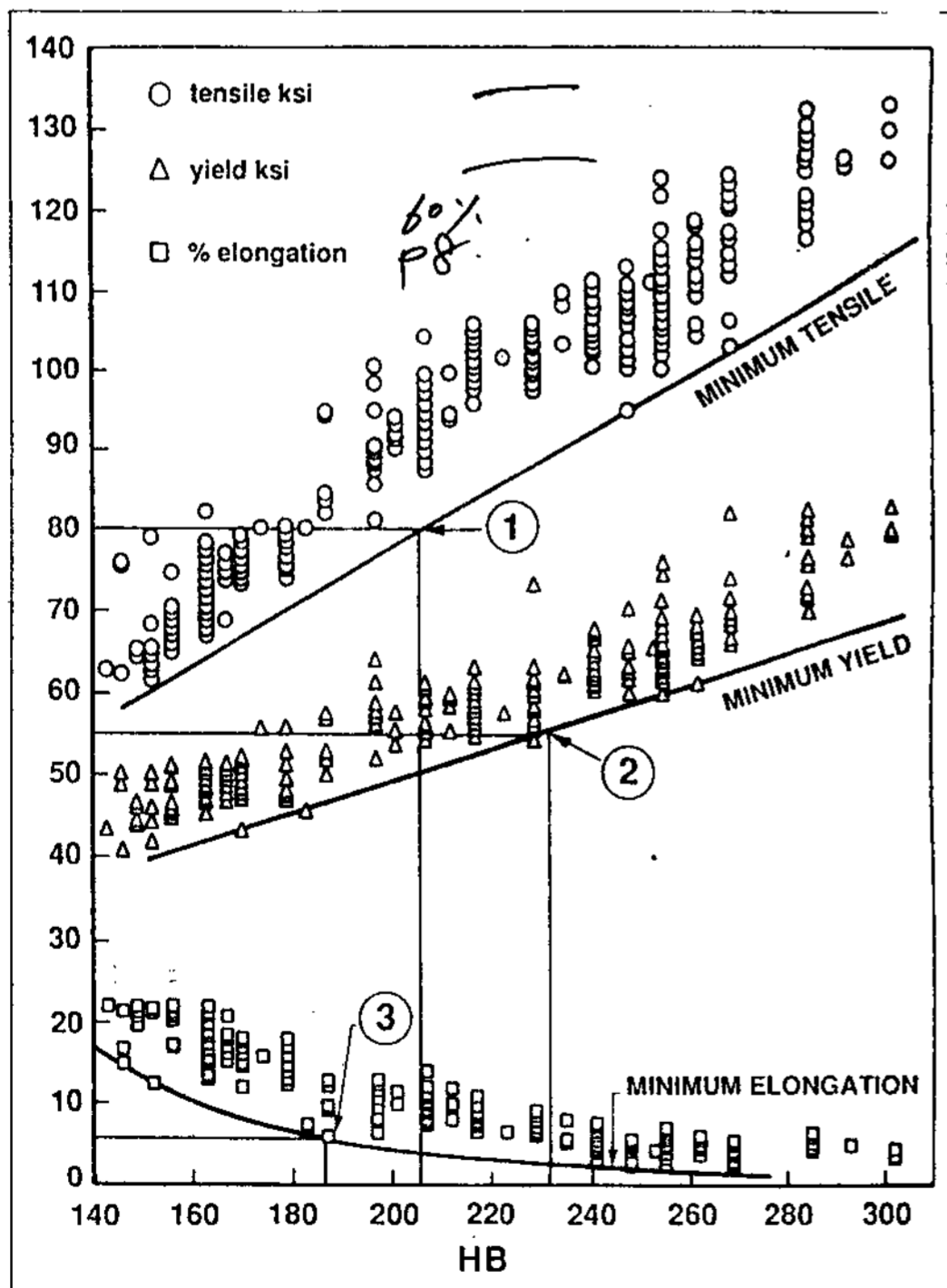


그림 8. 구상흑연주철(한 공장외에)에서 Brinell경도에 대한 인장 항복강도

시험편의 物性이 전형적인 散發띠 모양을 보여준다. 만일 이를 實鑄物의 브리넬 硬度和 別途 鑄造된 試驗片의 引張強度와 比較해서 만든다면 간혹 의미 있는 關係는 있지만, 더 폭넓은 散發띠를 기대할 수 밖에 없을 것이다.

統計的 工程 調節

모든 材料産業의 觀點에서 統計的 工程 調節의 適用이 인장강도와 브리넬 硬度的 非適切한 關係를 結合시키는 데 있어서 本質的인 어려움에 초점을 맞추어 왔었다. 한 업체에서 수개월동안 生産한 구상흑연주철(ASTM 80-55-06)에서 임의로 샘플링한 것으로 만든 그림.8의 띠 모양을 생각해 보자.

- 인장강도 : 80,000 psi 최저
- 항복강도 : 55,000 psi
- 연신율 : 6% 최저

화살표 ①은 최저 80,000psi의 引張強度를 유지하기 위해 브리넬 경도는 207보다 적어서는 안된다는 것을 보여주며, 화살표 ②는 최저 55,000psi의 항복강도를 유지하기 위해 브리넬 硬度は 232보다 적어서는 안된다는 것을 나타내 주며, 또한 화살표 ③은 연신율 6%를 유지하기 위해 브리넬 경도는 187를 초과 해서는 안된다는 것을 나타낸다. 이것은 분명히 불가능한 이야기다.

다시 그림 8를 보자. 어떤 브리넬 경도수치에서 인장강도 혹은 항복강도의 범위를 그리고 어떤 인장강도 혹은 항복강도에서 브리넬 硬度的 範圍를 보자. 187~255의 브리넬 硬度的 範圍를 고려해 볼 때, 引張強度가 아주 넓은 범위로 퍼져 있음을 알 수 있을 것이다.

- 引張強度 : 75,000~125,000 psi
- 항복강도 : 45,000~75,000 psi
- 연신율 : 2~18%

이의 퍼짐은 測定 誤差와 금속 현미경 조직, 化學成分과 製造 工程의 變化의 누적 결과로 나타날 수 있다.

그림 8과 같은 데이터의 散佈때문에, 대다수의 국립 표준 협회들이 별도로 주입된 시험봉의 인장강도에 對한 鑄物의 브리넬 경도를 直接的으로 연결시키기를 항상 꺼려왔었다. 이미, 이의 압박이 이러한 關係가 定型的 物性이 絶對적 기대 物性이 된다는 觀點까지 要求하고 있다. 引張強度와 브리넬 硬度的 關係가 絶對적이 아니고 현실적으로 공장별 상당한 차이가 있을 수 있다.

추천

지금 이 時點이 硬度 測定의 限界를 인정하고서 건의할 시기다. 鑄造工場과 고객사이에서 브리넬 경도, 應力을 기본으로 해서 기대치와 현실치의 物性사이에 큰 모순들이 존재한다. 설계자들은 주철 사용을 피하던지, 혹은 큰 안전계수를 指定함으로 이러한 문제들을 해결하기 보다는 위기 사항에 놓이기가 더 쉽다. 이 글의 목적은 희망을 갖고서 이 문제를 정의하여 관련산업이 해결의 국면으로 진입시켜 주는 것이며, 동시에 중간적인 추천을 제시하는 바이다.

- SAE 브리넬 경도치와 ASTM 引張強度의 연결이 부적합하다는 것을 인정하고 즉시 이를 중단한다.
- 브리넬 硬度가 용도상의 기본 物性일 때, 定型的인 物性이 충족될 때, 기능상의 物性이 브리넬 硬度로서 보증된다는 것을 고객이 統計的으로 충분한 만족을 가질 때, SAE규격을 사용한다.
- 품질 보증서 즉, 정확한 재질이 생산되어진다는 것을 확증하기 위해서는 ASTM규격을 사용하라. 주물 物性에 관한 관계가 통계적으로 중요한 데이터에 의해 확증된다.

- 설계자와 주물 소재 제조업체에서 기능상의 특수한 物性和 特性을 증명하고 측정할 수 있는 비파괴 실험 방법의 개발과 협력을 과감하게 추진할 것.
- 測定 誤差를 줄임과 동시에 좀 더 나은 공정 조절로 物性和 브리넬 硬度 關係를 增大시킬 것.

참 고 문 헌

1. R. W. Lobenhofer, "Beware of uninformed Application of SPC hardness" modern casting, jan 1988
2. J. F. Janowak, "Cast iron Metallurgy for Improved machinability" ASM international Conference on High Productivity Machining, Materials and Processing, 8503-006. 1985
3. J. F. Janowak, P. B. Gundlack, K. Rohrig, "Technical Advances in Cast iron Metallurgy." International Foundry Congress official AFS Exchange paper, 1981
4. A. Alagarsamy, Unpublished data, Grede Foundries, INC.

◇ 表 紙 說 明 ◇ = 鐵 鑊 =

충청북도 유형문화재 제143호
소재지 : 충청북도 보은군 내속리면 범주사내
이것은 신라성덕왕 때(720) 조성되었다고 하는 철솥으로 옛날 범주사가 한창번창하여 삼천송도가 운집하여 있을 당시 장솥·혹은 밥솥으로 사용하였다고 전한다.
크기는 높이 1.2m 직경 2.7m, 둘레 10.8m나 되는 거대한 솥이다.