

트럭용 커넥팅 로드 소재의 내부 품질에 따른 기계적 특성 연구

김 동 현*, 채 왕 석**, 김 우 순**

A study on the Mechanical Characteristics by the Internal Quality of Connecting Rod Materials for Trucks

D. H. KIM*, W. S. CHAE**, W. S. KIM**

Abstract

We have studied internal quality including chemical compositions, microscopic structure and nonmetallic inclusion of test materials.

We have analyzed tensile strength value, hardness value, impact value etc.

In analyzing internal quality, all of the test materials showed typical ferrite+pearlite structure. But nonmetallic inclusion showed oxide and sulfide inclusions in medium carbon steels, and sulfide inclusion is S-free cutting steels. In Ca+S-free cutting steels, the calcium aluminate and sulfide complex inclusion had low-melting points as deformation of sulfide and oxide inclusion is existed.

It was found that tensile strength and hardness give maximum value in medium carbon steels, where as minimum in Ca+S-free cutting steels.

But values of elongation, reduction of area and impact are reverse.

Fracture surface of impact specimen is ductile in free cutting steels but brittle in medium carbon steels.

Keywords : Internal Quality(내부품질), free machining additives(쾌삭첨가물)

External inclusion(외생적 계재물), Internal inclusion(내생적 계재물)

* 원광대학교 기계공학과 교수

** 원광대학교 대학원 기계공학과

I. 서 론

일반적으로 기계 재료의 절삭성에는 절삭재의 성분, 조직 및 기계적 성질 등이 크게 영향을 미친다. 재료는 절삭 과정에서 열변형이 발생하므로 가능한 절삭 온도가 낮고 공작물의 다듬질 면이 양호해야 하며 칩이 짧게 단절되고 칩 처리가 용이해야 한다.⁽¹⁾ 따라서 재료의 절삭성을 개선하고 생산 능력을 향상시키기 위하여 폐삭 첨가물(free machining additives)을 미량 첨가하여 금속 재료의 기계적 성질을 저하시키지 않는 범위에서 절삭성을 개선해 보고자 하는 연구가 진행되고 있다.

강재(鋼材)는 소량 혹은 다량의 기지 조직과 조성이 다른 물질을 함유하고 있는 비금속 개재물(Nonmetallic Inclusion)에서는 그것이 강재에 대해서 나쁜 영향을 미치고 있으면 가능한 그 수를 감소시키거나 S, Ca과 같은 폐삭 원소를 첨가하고 개재물의 양을 증가시킴으로써 절삭성을 향상시키고 있다.

최근에 폐삭강의 요구가 생산성 향상과 공구 수명의 향상을 주목적으로 하는데 반해 기계 설비의 자동 생산 시스템(FA, FMS, CIM, IMS)의 보급, 절삭 가공과 냉간 가공을 조합한 새로운 공법의 조합 등 부품 제조 기술이 현저히 발전하여 칩 처리성, 냉단성 등의 양호한 폐삭강이 요구되고 있으며 또한 높은(高)경도화, 경량화, 성(省)에너지화 등에 대응할 수 있는 폐삭강의 개발이 이루어질 필요가 있다.

본 연구에서는 폐삭 원소의 첨가에 따른 내부 품질 특성에 따른 기계적 특성을 연구하기 위하여 트럭용 커넥팅 로드 소재인 중탄소강, S폐삭강, Ca+S 폐삭강 등 3가지 소재를 실험체로 하여 현미경 조직 분석, 비금속 개재물 측정 및 정성 분석 등 내부 품질 실험을 통하여 폐삭 원소의 첨가에 따른 제반 내부 품질 특성을 고찰하고 인장 시험, 경도 시험, 충격 시험 등을 통한 각 실험체의 기계적 특성을 비교, 검증하고자 한다.

따라서 본 실험 데이터를 토대로 폐삭 원소가 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하여 재료의 절삭성 향상 요인을 추출함으로써 실제 산업 현장에서 절삭 조건의 설정을 위한 자료로서 제안, 제시하고자 한다.

II. 폐삭강 이론

강재는 소량 혹은 다량으로 기지 조직과 조성이 다른 물질 즉, 개재물이 함유되어 있다. 개재물은 외부에서 강

(鋼) 내로 혼입된 외생적 개재물(外生的 介在物)과 강(鋼) 중에서 탈산 생성물로 생성된 경우와 같은 내생적 개재물(內生的 介在物)⁽²⁾이 있다. 개재물 중 강재에 대해서 나쁜 영향을 가지고 있으면 형상에 지장을 초래하지 않는 범위에서 가능한 한 그 수를 감소시키고, 역으로 기재물의 양을 증가 시킴으로서 강재의 절삭성을 개선하고 적절한 절삭 용도에 이용하는 추세이다.

실례로 S를 첨가하여 비금속 개재물(MnS)량을 증가시키거나 Pb를 첨가하여 금속 개재물을 증가시키는 경우가 있다.

일반적으로 알려진 폐삭강은 1920년 제1차 세계 대전 중 연강을 제조하는 과정 중에 정련 불순 원소가 우연히 발견되어⁽³⁾ 절삭성이 상당히 개선됨을 인식하게 되었고 그 후 절삭이 쉬운 강을 폐삭강이라 명명(命名)하고 의도적으로 S를 첨가한 강을 상용화하였으며 고탄소의 진정강(鎮靜鋼), 고급 탄소강에도 적용하고 실용화하게 되었으며 폐삭강의 생산량은 지난 10년간 약 2배의 신장률을 보이고 있다.⁽⁴⁾

강재의 절삭성은 많은 요인이 영향을 미치며 이들의 영향에 대해 일반화시키는 것은 상당히 어려움이 있으나 보통 성분 원소 및 폐삭원소의 영향으로 대별할 수 있다.

즉, C, Mn, Si, O, P, N과 같은 성분 원소⁽⁵⁾와 S, Pb, Bi, Se, Te, Ca와 같은 폐삭원소⁽⁶⁾가 강재의 절삭성을 개선하는데 많은 영향을 미친다.

강재의 절삭성을 향상시키는 개재물은 MnS(Ca, Mn), S, Pb, Bi 등 경도가 낮은 연질(軟質)의 개재물이고, 반면에 Al₂O₃, SiO₂, TiN과 같은 경질(硬質)의 개재물은 경도가 높고 취성(brittle)이 클 뿐 아니라 비연성이므로 절삭시 공구와 접촉하여 공구를 마모시킴으로써 수명을 단축시키며 특히 그 크기가 크고 양이 많을수록 그만큼 수명을 저하시킨다.⁽⁷⁾⁽⁸⁾ 따라서 폐삭강에 있어서 절삭성에 유해한 형상으로 적합한 폐삭 원소를 첨가하여⁽⁹⁾ 절삭성에 좋은 개재물을 형성하는 것이 매우 중요하다.

III. 실험

3-1. 실험재 및 실험 장치

(1) 실험재의 종류

실험재는 자동차 부품 중 트럭용 커넥팅 로드 소재로 쓰이는 폐삭강 가운데 중탄소강(Sampe A)과 S 첨가 폐삭강(Sample B), Ca+S 첨가 복합 폐삭강(Sample C) 등 3가지 소재로 하였으며 각 소재의 화학 성분은 Table

1과 같다. 중탄소강인 Sample A에 비해 S 폐삭강인 Sample B는 S함량이 0.058%이고 Ca+S 복합 폐삭강인 Sample C는 S 0.043%, Ca 0.0015%의 조성을 나타내었다.

Table. 1 Chemical composition of determined Samples (wt%)

Sample Component	A	B	C
C	0.55	0.57	0.54
Si	0.25	0.20	0.21
Mn	0.80	0.89	0.88
P	0.018	0.020	0.015
S	0.014	0.058	0.043
Al	0.010	0.006	0.011
Ca	0.0003	0.0001	0.0015

2) 실험장치

본 실험에서 사용된 실험 장치 및 기기에 대한 사양은 Table. 2와 같다.

3-2. 실험 방법

현미경 조직은 실험편을 연마액(알루미나)을 사용하여 폴리싱(polishing)한 후 부식 용액(3% Nital)으로 적절히 부식시킨 후 광학 현미경을 이용하여 400 배율로 관찰하였다.

비금속 개재물 측정 및 정성 분석을 위하여 실험편을 압연 방향과 평행하게 중심선을 따라 R/4 부위에서 채취하여 상 분석기(LECO image Analyzer)를 이용, JIS G 0555의 규정에 의해 400 배율로 측정하여 비금속 개재물에 대한 분포 형태를 관찰하였다.

또한, 폐삭 원소의 첨가에 따른 비금속 개재물의 조성 변화를 살펴보기 위하여 EPMA(JEL JAX 8600MX)를 이용하여 비금속 개재물을 정성 분석하였다.

인장 시험은 KS 4호 시험편 규격으로 가공하여 Sample별로 3개의 실험편을 준비하고 100ton 용량의 인장 시험기(UH-100)를 사용하여 3회 시험의 평균치를 인장 시험 값으로 하였다.

경도 시험은 로크웰 경도 시험기의 B scale을 사용하여 소재 단면의 표면에서 중심까지 5점을 시험하여 결과의 평균치를 경도 값으로 하였다.

Table. 2 Experimental apparatus and tools

TEST ITEM	TESTER	SPEC.
Structure and Inclusion Measurement	Image Analyzer	LECO(USA) LECO-300 배율 : 50~2000배
Component analyzer of Inclusion	EPMA	JOEL(USA) JXA 8600MX 각종 상분석으로 개재물 측정 (ASTM, JIS)
Tensile Test	Tensile tester	SHIMADZU (Japan) UH-100A MAX. 100Ton 6 Range
Hardness Test	Rockwell hardness tester	MATSUZAWA (Japan) MXT- α 27 B, C scale
Impact Test	Charpy impact tester	SHIMADZH (Japan) CH-type MAX 30 m kg

충격 시험은 KS 4호 시험편 규격으로 가공하여 Sample별로 3개의 실험편을 준비하고 Charpy Impact Tester(30Kg용량)를 사용하였다. 또한 충격 시험후의 파단면 특성을 조사하기 위하여 EPMA를 이용하여 충격 파단면을 관찰하였다.

IV. 결과 및 고찰

4-1. 내부 품질 시험 결과

본 실험에서 압연한 소재의 현미경 조직을 관찰한 결과 Photo 1에서 보는 바와 같이 각 Sample이 공통적으로 모두 전형적인 퍼얼라이트+페라이트 조직을 나타내었고 비교적 균일한 분포를 하고 있음을 알 수 있다.

조직 사진에서 보면 흰색 부위로 보이는 페라이트는 검게 보이지만 층상 조직을 하고 있는 퍼얼라이트가 존재하며 이것은 강재의 C함량에 따라 조직 분포가 달라지는데,

일반적으로 C 함량이 낮으면 경도가 낮은 페라이트 조직이 크게 분포하고 C 함량이 높으면 상대적으로 경도가 높은 퍼얼라이트 조직이 우세하게 형성된다.

본 실험재는 압연후 풀림(annealing) 열처리(840℃, 1Hr)를 하여 조직을 균일화 시킨 후 sampling하였고 실험재별 C 함량 차이가 분석 허용 오차 이내의 수준이므로 조직 비교에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

소재 상태에서 비금속 개재물을 측정된 결과 Sample A에 비해서 Sample B는 A계인 황화물(sulfide) 개재물이 높게 나타났으며 Sample C는 Sample B에 비해 황화물(sulfide) 개재물이 낮은 반면, 각각 B계, C계인 알루미나(alumina)와 구상 산화물(Globular oxide) 개재물이 상대적으로 높게 나타났다.

Photo 2는 각 Sample에서 관찰된 전형적인 비금속 개재물 형태를 나타내고 있다.

Sample A는 주로 황화물(sulfide)과 알루미나(alumina) 개재물이 존재하였고 S를 첨가한 Sample B는 대부분 크기가 큰 황화물(sulfide) 개재물이 분포하였다. 반면에 Ca+S 복합 첨가시 Sample A에서 나타났던 알루미나(alumina) 개재물이 형태 변화되어 Sample C의 개재물 사진과 같이 구상화, 미세화되었고 비교적 균일하게 분포하였다. 이와 같은 개재물 형태의 변화는 폐쇄원소인 S와 Ca의 첨가량에 따라 형성되는 개재물의 조성 및 형태가 달라지기 때문으로 판단된다.

한편, 각 Sample에서 나타난 대표적인 비금속 개재물을 EPMA를 이용하여 정성 분석한 결과는 Photo 3과 같은 금속개재물의 SEM조직이 나타났으며 비금속 개재물에 대한 EPMA 정성 분석 결과 Fig. 1과 같이 그래프로 나타났다.

결과적으로 Sample A의 비금속 개재물은 주로 Al, O, Mn, Ca의 원소로 이루어진 전형적인 산화물(oxide) 개재물(Al_2O_3 , MnO 등)이었고 Sample B는 Mn, S 성분으로 형성된 황화물(sulfide) 개재물(MnS)이었다. 반면에 Sample C는 Al, O, Mn, Ca, S의 성분으로 구성된 칼슘 알루미나이트(calcium-aluminate)와 $(Mn \cdot Ca)S$ 의 복합 개재물을 나타내었다.

이는 본래의 형태이던 알루미나(alumina)와 황화물(sulfide) 개재물이 Ca 원소의 첨가에 의해 비금속 개재물의 조성 및 형상이 변형된 결과로 판단된다. 이러한 복합 개재물을 저융점을 가지고 알루미나(alumina)보다 큰 연성을 가지므로 폐쇄강의 절삭성을 향상시켜주는 요인으로 작용하게 되는 것으로 알려져 있다.

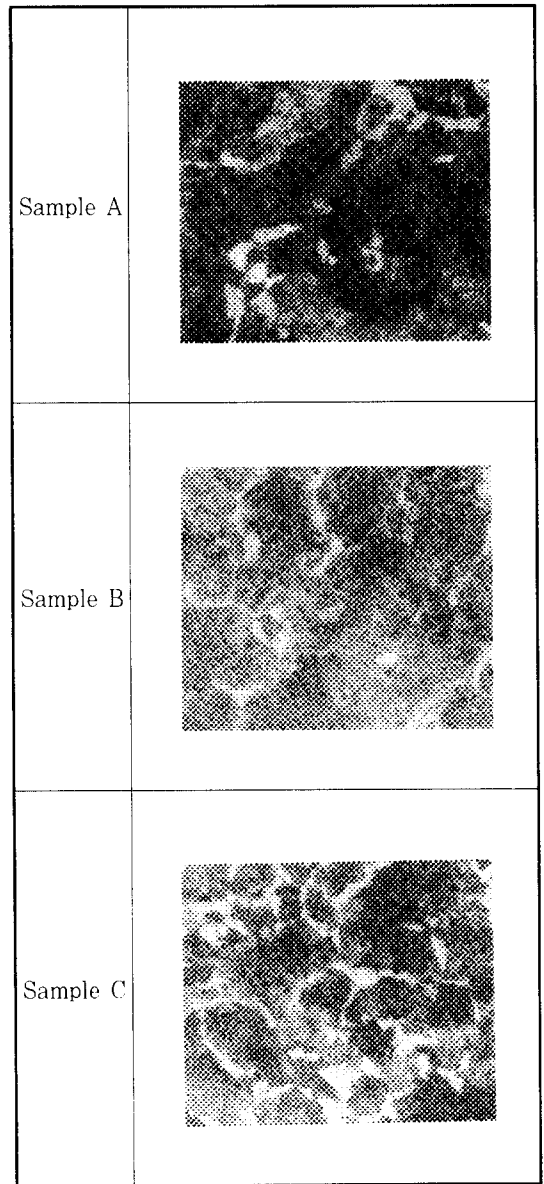


Photo 1 Optical micro structure of tested sample($\times 400$)

4-2. 기계적 시험 결과

비교 실험재에 대한 인장 시험 및 경도 시험 결과를 요약하면 Table 3과 Fig. 2와 같다.

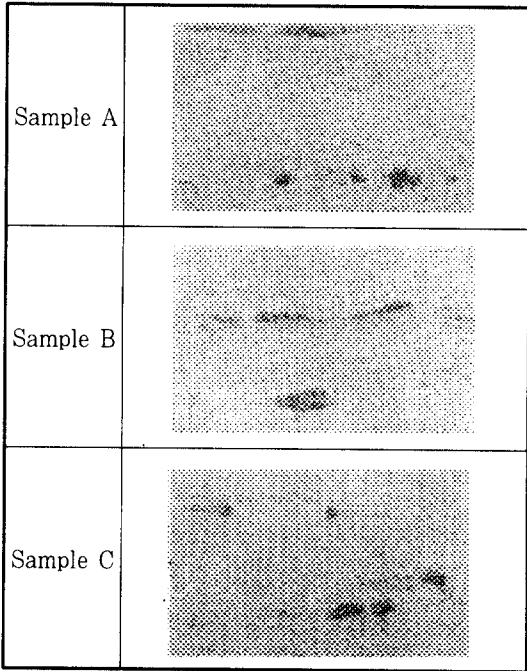


Photo 2 Morphology of nonmetallic inclusions($\times 400$)

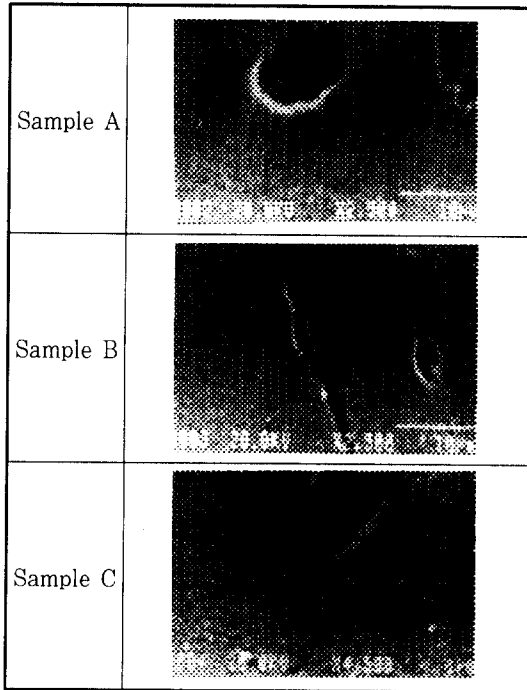


Photo 3 SEM micrographs of nonmetallic inclusions for each sample

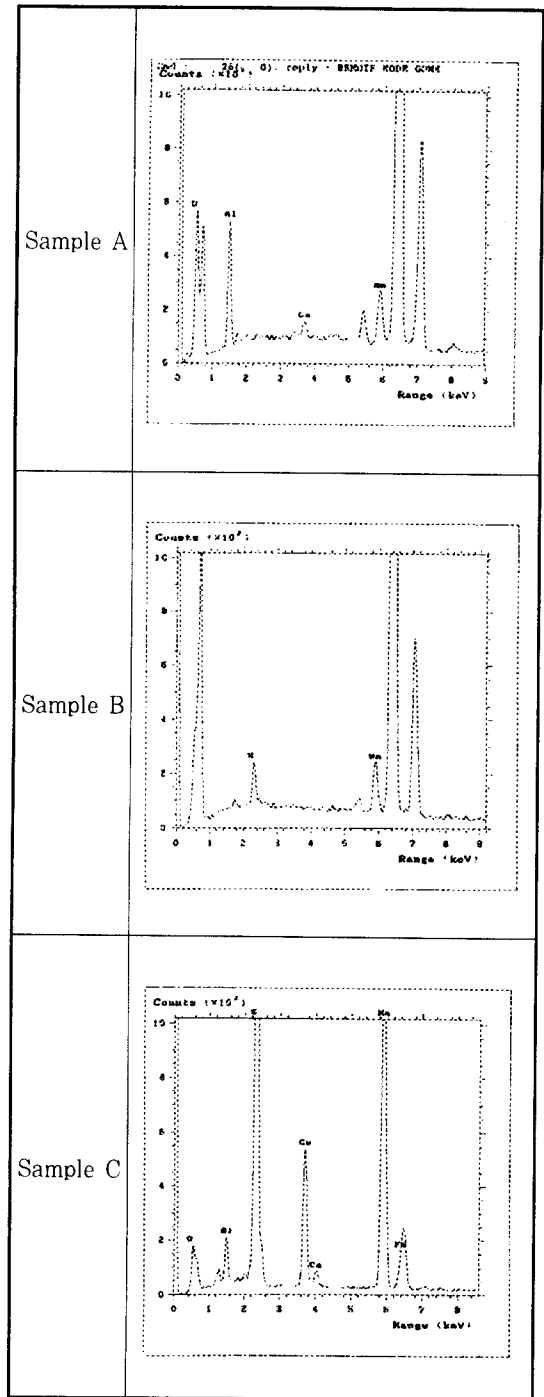


Fig. 1 EDS analysis of nonmetallic inclusion for each sample

Table 3 Results of tensile test and impact test

Item \ Sample	A	B	C
Yield strength (Kg/mm ²)	46.1	46.2	42.5
Tensile strength (Kg/mm ²)	82.7	77.8	62.8
Elongation (%)	19.2	23.4	30.3
Reduction of area (%)	30.7	40.0	45.4
Hardness (HRB)	98.2	96.3	95.5
Impact Value (Kgf - m)	1.38	1.75	2.01

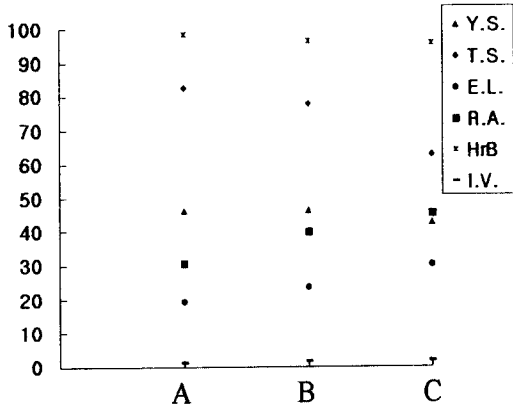


Fig. 2 Results of tensile test and impact test

인장 시험 결과 중탄소강(Sample A)은 쾌삭강(Sample B, C)보다 인장 강도는 높지만 연신율과 단면 수축율은 낮게 나타났으며 쾌삭강의 비교에서 Ca+S 복합 쾌삭강은 S 쾌삭강에 비해 인장 강도는 낮은 반면 연신율과 단면 수축율은 높게 나타났다. 이는 중탄소강에 첨가되는 쾌삭 원소의 영향으로서 S를 단독 첨가했을 때 형성되는 황화물(sulfide) 개재물 보다 Ca+S 복합 첨가시 형성되는 칼슘 알루미늄이트(calcium aluminat) 복합 개재물이 연신율과 단면 수축율에 직접적인 영향을 미치지기 때문에 판단된다.

경도 시험 결과는 중탄소강이 가장 높고 쾌삭강에서는 Ca+S 복합 쾌삭강이 S 쾌삭강보다 낮게 나타났다. 이러

한 결과는 전술한 인장시험 결과와도 잘 부합된다.

일반적으로 Ca+S 복합 쾌삭 원소의 첨가에 따른 소재의 경도 감소는 쾌삭강의 절삭성을 개선시키는 요인으로 작용한다.

충격 시험 결과는 중탄소강(Sample A)이 가장 충격치가 낮았고 쾌삭강의 비교에서는 Ca+S 복합 쾌삭 원소를 첨가한 것(Sample C)이 S쾌삭 원소만 첨가한 것(Sample B) 보다 충격치가 높게 나타났다.

한편, 충격 시험 후 파단된 시험편의 파단조직을 관찰한 결과 Photo 4에서 보는 바와 같이 중탄소강은 파단면이 취성 파괴 양상을 보였고 쾌삭강은 연성 파괴 형태를 나타내었으며 파단 조직 μ 의 딴플(dimple)의 형태로 보아 딴플 크기가 보다 큰 Ca+S 복합 쾌삭강이 S 쾌삭강보다 충격치가 높게 나타났다.

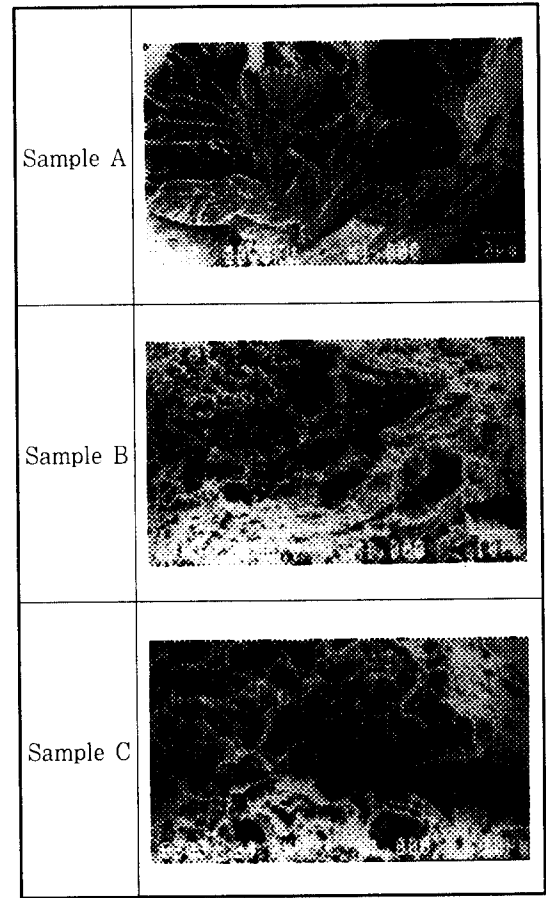


Photo 4 SEM micrographs of fractured specimen surface in impact test

V. 결 론

자동차 부품 중 트럭용 커넥팅 로드 소재로 사용되고 있는 쾌삭강의 절삭성에 미치는 성분 원소 및 쾌삭 원소의 영향을 규명하기 위하여 중탄소강, S 쾌삭강, Ca+S 복합 쾌삭강의 실험재에 대한 내부 품질에 따른 기계적 특성을 비교 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 현미경 조직은 시험재 모두 전형적인 페라이트+퍼얼라이트 조직을 나타내었다. 비금속 개재물은 중탄소강에서 산화물 개재물(Al_2O_3 , MnO 등), 황화물 개재물(MnS)이 나타났고 S 쾌삭강은 S 첨가에 의해 주로 황화물 개재물(MnS)이 산화물(Al_2O_3)과 함께 존재하는 반면, Ca+S 복합 쾌삭강은 Ca+S 첨가에 의해 기존의 황화물(MnS)과 산화물(Al_2O_3), 개재물이 변형되어 저융점의 칼슘 알루미늄 나이트($CaO \cdot Al_2O_3$)와 황화물(Mn, Ca) S의 복합 개재물로 나타났다.
2. 인장 강도와 경도는 중탄소강, S 쾌삭강, Ca+S 복합 쾌삭강 순으로 높았으나 연신율, 단면 수축률 및 충격치는 Ca+S 복합 쾌삭강이 가장 높게 나타났으며 S 쾌삭강, 중탄소강 순으로 높게 나타났다.
3. 충격 시험편의 파단 특성은 취성 파단된 중탄소강에 비해 쾌삭강은 연성 파괴의 양상을 보였고 특히, Ca+S 복합 쾌삭강에서 보다 두드러진 연성 파괴를 나타냄으로써 충격치등 물성치의 향상을 가져온 것으로 확인되었다.

따라서, 이와 같은 쾌삭원소에 따른 기계적 성질의 향상은 Ca+S 복합 쾌삭 원소의 첨가에 의해 피삭성에 유해한 비금속 개재물이 무해한 형상으로 조성이 변형된 결과로 판단된다.

후 기

이 논문은 1996학년도 원광대학교 교내 연구비(일반과제)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. G. Jha, S. Sharman, "Tool & Alloy Steels", No., pp 5, 1995
2. 日本鐵鋼學會, "高潔淨鋼", 第126, 127回, 西山記念技術講座, p.187, 1988
3. 番谷登平, 形浦安治, "カルシウム鋼", p.139, pp.142~148, 1981
4. 荒木, "快削鋼 研究 開發の展望", 鐵と鋼, p.73, 1982
5. AMERICAN MACHINIST & Automated Manufacturing, Special Report 790, p.115, 1986
6. G. Jha, S. Sharma, "Tools & Alloy Steels", No.1, p.5, 1990
7. W. E. Duckworth and E. Ineson: Isl spec. Rep. 77, London, p.87~103, 1996
8. Y. kawada, Z. H. Nakazawa and S. Kodama, Fac. Tech., Tokyo, Metropol.
9. Opitz, H. Koning, W. Ardh, Eisen, Vol. 133, No.12, p.831, 1962