

Bi-S 쾌삭강의 칩생성특성

이영문*, 조삼규**, 장은실***, 태원익***, 심보경***

Chip Forming Characteristics of Bi-S Free Machining Steel

Y. M. Lee*, S. K. Cho**, E. S. Jang***, W. I. Tae***, B. K. Shim***

Abstract

In this study, the characteristics of chip formation of the cold drawn Bi-S free machining steels were assessed. And for comparison, those of the cold drawn Pb-S free machining steel, the hot rolled low carbon steel which has MnS as free machining inclusions and the conventional steels were also investigated. During chip formation, the cold drawn free machining steels show relatively little change in thickness and width of chip compare to those of the conventional carbon steels. And a single parameter which indicates the degree of deformation during chip formation, 'chip cross-section area ratio' is introduced. The chip cross-section area ratio is defined as chip cross-section area is divided by undeformed chip cross-section area. The variational patterns of the chip cross-section area ratio of the materials cut are similar to those of the shear strain values. The shear stress, however, seems to be dependent on the carbon content of the materials.

The cold drawn Bi-S and Pb-S steels show nearly the same chip forming behaviors and the energy consumed during chip formation is almost same. A low carbon steel without free machining aids shows poor chip breakability due to its high ductility.

By introducing a small amount of non-metallic inclusions such as MnS, Bi, Pb or merely increasing carbon content the chip breakability improves significantly.

Key words : Free machining steel(쾌삭강), Chip cross-section area ratio(칩단면적비)
Specific cutting energy(비절삭에너지), Chip breaking index(칩절단지수),

1. 서론

미국의 병기, 기계산업의 요구에 의해 1920년 S쾌삭강이 Inland Steel사에서 개발된 이래 1939년 Inland Steel사와 백텔 메모리얼 연구소의 공동연구에 의해 Pb쾌삭강, 1960년 독일 야켄공대에서 Ca쾌삭강, 1961년 Inland Steel사에서 Te쾌삭강, 1980년대 중반 Inland Steel사와 일본 Nippon Steel사 공동으로 Pb-Bi계 쾌삭강이 개발되었으며, 그 종류는 수십 종에 이르고 있다.⁽¹⁾

쾌삭강의 개발과 더불어 절삭특성에 대한 연구가 병행되었으며 발표된 연구보고서, 논문만 하더라도 일일이 열거할 수 없을 정도의 방대한 양에 이르고 있으며, 최근 쾌삭강의 고속절삭기구에 대한 연구도 활발하게 이루어지고 있다.⁽²⁾

한편 국내에서의 쾌삭강 개발현황은 80년대 중반 창원 특수강, 포항제철에서 S쾌삭강의 개발이 이루어졌으며, 최근 포항제철 기술연구소에서 Bi-S계 쾌삭강의 개발이 시도되고 있다.⁽³⁾

본 연구에서는 열간압연 소재를 냉간인발가공하여 주로 자동차용 볼트, 너트 및 유압호스 연결 부품 가공소재로 개발된 냉간인발 Bi-S쾌삭강의 칩 생성특성 및 절삭 특성 평가를 시도하였다.

* 경북대학교 기계공학과
** 포항제철 기술연구소
*** 경북대학교 대학원 기계공학과

또한 비교 평가를 위하여 일본에서 제조된 냉간인발 Pb-S계 쾌삭강과 국내에서 제조된 기계구조용강 및 일반구조용강에 대한 절삭 실험을 병행하였다.

2. 절삭실험

개발된 냉간인발 Bi-S쾌삭강의 절삭특성을 평가하기 위하여 선반에서 외경선삭실험을 행하였다.

실험에 사용된 피삭재는 화학성분 및 단면 감소율을 달리하는 2종류의 냉간인발 Bi-S 쾌삭강(CDBi-S I 및 CDBi-S II), 일본에서 제조된 냉간인발 Pb-S 쾌삭강(CDPb-S)과 열간압연에 의해 제조된 기계구조용 SM10C, SM45C 및 Bi-S 쾌삭강을 만들기 위한 소재로서 Bi가 첨가되지 않은 열간압연된 HR10C이었다. Table 1에는 이들 강 의 화학적 조성을 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions(wt%) of workpiece materials

| | C | Si | Mn | P | S | Bi | Pb | Remark |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|---------|
| CDBi-S I | 0.075 | 0.046 | 1.33 | 0.077 | 0.296 | 0.12 | - | ROA 17% |
| CDBi-S II | 0.055 | 0.032 | 1.38 | 0.09 | 0.291 | 0.12 | - | ROA 23% |
| CDPb-S | 0.08 | 0.04 | 1.11 | 0.079 | 0.303 | - | 0.28 | - |
| SM10C | 0.102 | 0.222 | 0.706 | - | 0.002 | - | - | - |
| SM45C | 0.427 | 0.218 | 0.679 | 0.011 | 0.010 | - | - | - |
| HR10C | 0.098 | 0.007 | 1.28 | 0.105 | 0.310 | - | - | - |

절삭공구로서는 홈형 칩포머(groove type chip former)가 성형되어 있는 국내T사의 CNMG120408 인서트를 사용하였으며, 공구홀더로는 PCLNR2525M12를 사용하였다. Fig. 1은 실험에 사용한 공구의 사진과 단면 형상을 나타낸 것이다.

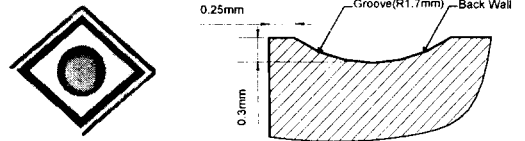


Fig. 1 Photograph and section view of the insert used

절삭실험조건으로는 절삭속도 100m/min에서 절삭깊이를 2mm로 하였으며 이송은 0.067, 0.148, 0.234, 0.296, 0.345, 0.444 및 0.542mm/rev의 7단계로 하였다.

절삭력성분을 구하기 위하여 공구동력계(Kistler, 9257A)에서 나오는 절삭력 신호를 전하증폭기(Kistler, 5807A)를 통해 증폭시키고, 이것을 데이터레코드에 저장하는 동시에 A/D변환기를 사용하여 PC에서 신호분석기능을 갖고있는 소프트웨어 패키지(Global Lab)를 사용하여 분석하였다. 또한 피삭재의 기계적 성질이 절삭 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 인장 시험(Instron 8516)을 통하여 탄성계수, 항복응력, 최대인장강도, 연신율을 구하였다. Table 2과 Fig. 2에는 인장시험 결과를 나타내고 있다.

Table 2 Mechanical properties of workpiece materials

| | Stress at ultimate (MPa) | Stress at offset yield (MPa) | Modulus of elasticity (MPa) | Maximum strain |
|-----------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------|
| CDBi-S I | 504 | 246 | 44920 | 0.1894 |
| CDBi-S II | 529 | 247 | 46610 | 0.1872 |
| CDPb-S | 547 | 260 | 37680 | 0.2166 |
| SM10C | 355 | 197 | 47120 | 0.4642 |
| SM45C | 665 | 266 | 50600 | 0.381 |
| HR10C | 429 | 256 | 48280 | 0.4551 |

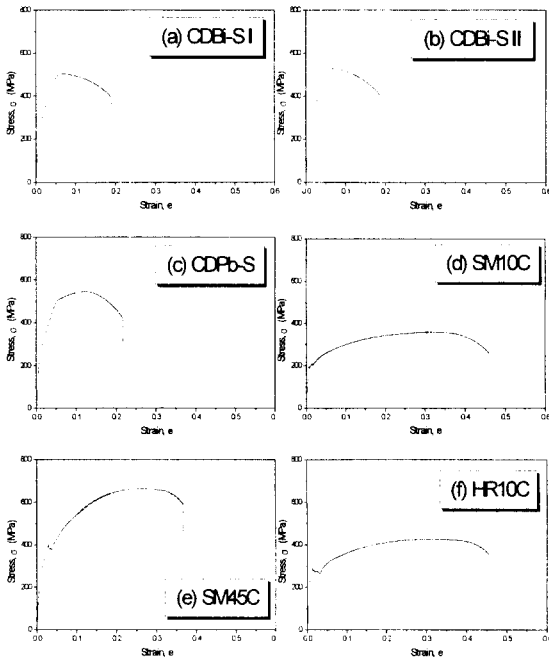


Fig. 2 Stress and strain diagram

3. 실험결과 및 고찰

3. 1 절삭특성

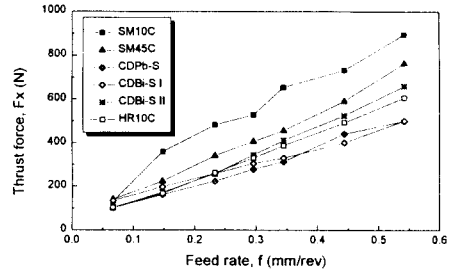
Fig. 3은 절삭실험에서 얻어진 절삭 3분력을 이송에 따라 나타낸 것이다. 절삭력 성분은 이송이 증가함에 따라 비례하여 증가하며, 쾌삭강 계열이 기계구조용강 계열보다 낮은 값을 나타낸다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 SM10C는 다른 강에 비해 절삭력 성분이 크게 나타난다. 특히 배분력, 이송분력이 크게 나타난다.

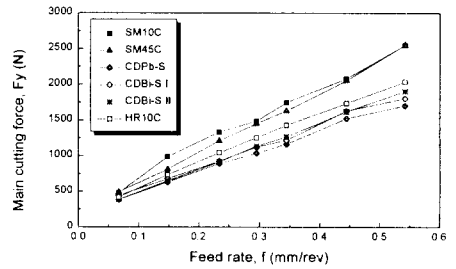
Fig. 4은 칩두께를 이송에 따라 나타낸 것이다. 칩의 두께는 이송이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 양상을 나타내고 있다. 이는 본질적으로 2차원절삭에서의 절삭깊이가 3차원절삭에서는 이송에 해당되기 때문이다. 동일한 이송조건에서 SM10C의 칩두께가 가장 두꺼우며, HR10C는 SM10C보다는 칩의 두께가 얇으며, 나머지 강들은 비교적 비슷한 수준의 낮은 값을 나타낸다.

Fig. 5는 측정된 칩의 폭을 나타낸 것으로 이송이 증가함에 따라 칩의 폭은 커지고 있다. 이는

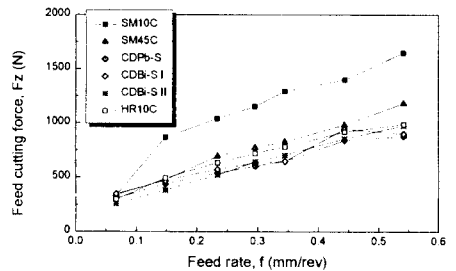
이송이 증가함에 따라 칩의 생성이 상대적으로 평면변형율 변형상태에서 평면응력 변형상태로 이행하기 때문으로 판단된다. SM10C의 칩폭이 가장 큰 값을 나타내며 SM45C는 칩두께는 얇았으나 칩폭의 변화가 비교적 크게 나타난다. 냉간 인발된 쾌삭강들은 칩의 폭의 증가가 비교적 작다.



(a) Thrust force, F_x (N)



(b) Main force, F_y (N)



(c) Feed force, F_z (N)

Fig. 3 Cutting force(N)

본 연구에서는 칩 생성시의 변형정도를 나타내기 위하여 생성된 칩의 단면적을 칩이 생성되기

전의 단면적, 즉 이송×절삭깊이로 나눈 값을 칩단면적비(Chip cross-section area ratio)로 정의하였다.

Fig. 6은 칩단면적비를 이송에 따라 나타낸 것으로 이 값이 클수록 칩의 생성시 변형이 크다는 것을 의미한다.

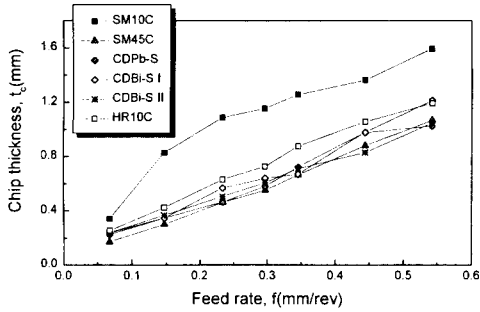


Fig. 4 Chip thickness, t_c (mm)

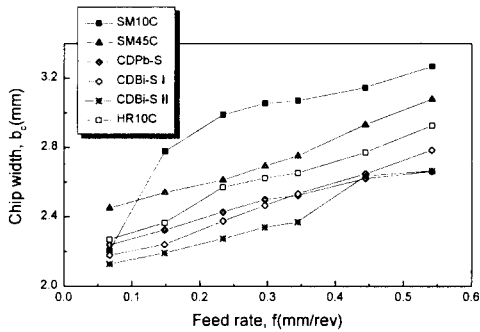


Fig. 5 Chip width, b_c (mm)

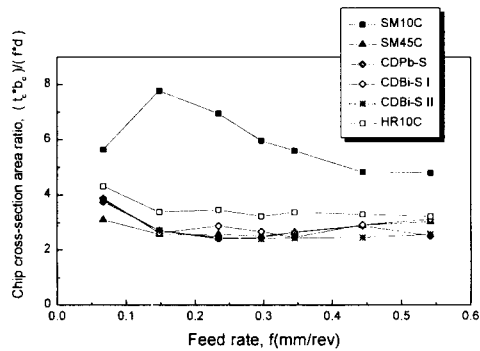


Fig. 6 Chip cross-section area ratio

Fig. 6에서 보는 바와 같이 SM10C의 경우 매

우 큰 값을 나타내며, HR10C의 경우 낮은 값을 나타내며, SM45C에 비해 약간 큰 값을 나타내고 있다.

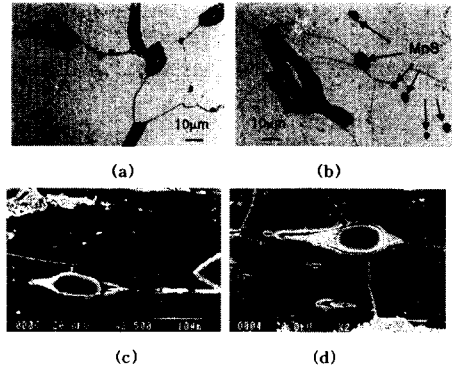


Fig. 7 Microstructures of (a)SM10C, (b)HR10C, (c)CDBi-S I and (d)CDPb-S Steels

Table 1과 Table 2에 나타낸 바와 같이 SM10C의 경우 탄소함유량, 최대인장응력 및 항복응력은 낮고 연신율이 크기 때문에 상대적으로 절삭된 후의 칩의 두께 및 폭의 변화가 크며 따라서 칩 두께 및 폭의 변형에 소모되는 배분력, 이송분력이 커진다고 생각된다. 반면 쾌삭강을 만들기 위한 소재로서 쾌삭첨가물 Bi가 첨가되지 않은 HR10C의 경우 탄소함유량은 SM10C와 거의 같으나, 쾌삭강과 비슷한 수준의 Mn과 S를 함유하며, Fig. 7에 나타낸 바와 같이 비금속개재물 MnS를 형성하며, 이의 영향으로 칩의 변형과 절삭력이 쾌삭강과 비슷한 수준으로 향상된다고 생각된다.

절삭실험에서 얻어진 칩두께와 절삭3분력의 측정결과를 이영문⁽⁴⁾등에 의해 개발된 3차원 외경선삭해석 소프트웨어 패키지에 입력하여 피삭재의 전단변형율과 전단력 및 비절삭에너지를 구하였다.

Fig. 8은 전단 변형율, γ 를 나타낸 것으로 이송이 증가함에 따라 전단변형율은 약간 감소하는 경향을 나타낸 것이다. SM45C가 가장 낮은 값을 나타내며, 쾌삭강 또한 낮은 값을 나타내고 있으며 반면, SM10C는 가장 높은 값을 나타낸다.

Fig. 9은 전단응력, τ 를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 SM45C가 가장 높은 전단응력을 나타내고 있다. 이는 다른 소재에 비해 탄소함유량이 많고, 이에 따라 항복응력이 높기 때문으

로 판단된다.

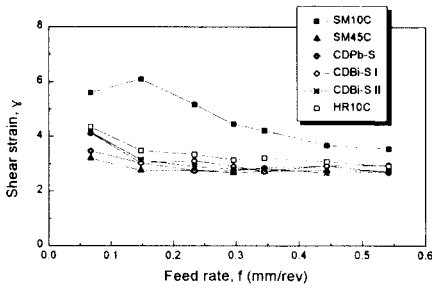


Fig.8 Shear strain, γ

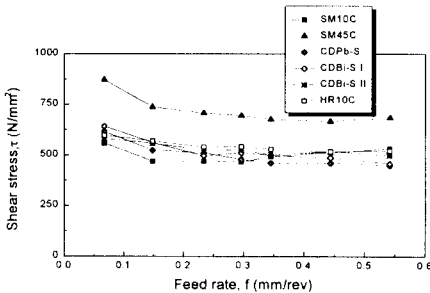


Fig.9 Shear stress, τ (N/mm²)

SM10C는 탄소함유량이 낮기 때문에 낮은 전단응력을 나타내는 반면 연성이 크기 때문에 변형이 많이 일어나 전단변형율이 높은 값을 나타내며, 반면 HR10C는 MnS가 쾌삭 첨가물과 같은 효과를 나타내 상대적으로 전단변형율이 작아진다고 생각된다. 쾌삭강의 경우 탄소 함유량이 낮아 전단응력은 낮으며, 쾌삭 첨가물에 의해 전단변형율이 적고 칩의 변형도 작아진다고 판단된다.

비절삭에너지, u 는 절삭입력조건에 따른 절삭 특성평가를 위해서 가장 일반적으로 채택되는 파라미터이다.⁽⁵⁾ Fig. 10은 비절삭에너지를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 비절삭에너지는 이송이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 실험결과는 절삭에서의 치수효과를 나타내는 것이다.⁽⁶⁾

비절삭에너지는 기계구조용강이 높은 값을 나타내고 있으며 Pb-S쾌삭강이 가장 낮은 값을 나타내고 있다.

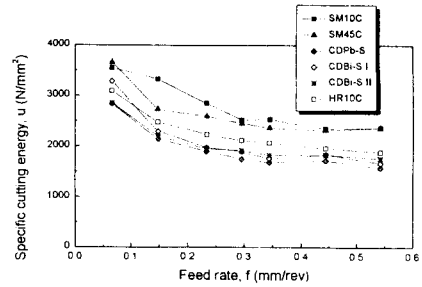


Fig. 10 Specific cutting energy, u (N/mm²)

SM10C의 경우 낮은 전단응력에도 불구하고 비절삭에너지가 큰 이유는 상대적으로 전단변형에 소모되는 에너지가 크기 때문이며, SM45C의 경우 고탄소강으로써 전단변형율은 작으나 전단응력이 크기 때문에 비절삭에너지가 크게 나타난다.

3. 2 칩절단특성

이송이 커짐에 따라 칩은 연속형에서 불연속형(절단)칩으로 생성되며 칩이 절단되는 주기도 짧아지는 경향을 나타낸다.

Fig. 11은 절단칩이 생성된 경우 이송에 따른 칩길이의 변화를 나타낸 것이다.⁽⁷⁾

$$l_c = \frac{w_c}{\rho t_c b_c} \quad (1)$$

절단칩의 길이는 이송이 증가함에 따라 급격히 감소하다가 일정해지는 경향을 나타낸다. SM10C의 경우 전절삭조건에서 연속형 칩이 생성되었으며 HR10C는 칩의 길이가 가장 짧으며 CDBi-S I 쾌삭강이 나머지 강들에 비해 비교적 짧게 나타난다.

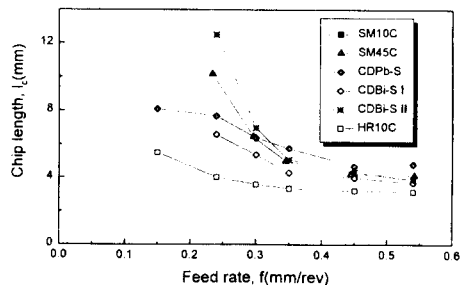


Fig. 11 Chip length, l_c (mm)

Fig. 12은 절삭실험에서 생성된 절단칩의 칩 절단지수, C_B 를 이송에 대해 나타낸 것이다.⁽⁷⁾

$$C_B = \frac{t_c}{l_c} \quad (2)$$

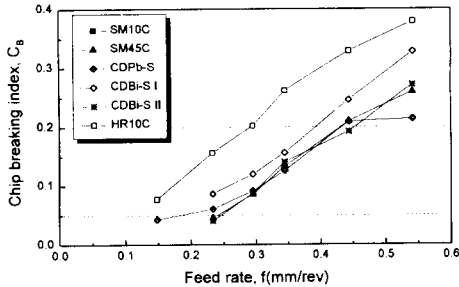


Fig. 12 Chip breaking index, C_B

각각의 피삭재 모두 칩절단지수, C_B 의 값은 이송의 증가와 더불어 대략 직선적으로 증가한다. 선행 연구⁽⁷⁾와 마찬가지로 칩의 형성과 칩절단지수를 비교하였을 경우, 칩절단지수값이 0.05-0.2 영역에서 적정제어된 칩이 발생하며, 0.2이상에서는 과잉제어된 칩이 발생하고 0.05이하에서는 과소제어된 칩이 발생한다.

SM10C의 경우 전절삭조건에서 연속형 칩이 생성되어 칩절단지수 값은 존재하지 않으며, HR10C의 경우 다른 피삭재에 비해 높은 칩절단지수값을 나타내고 있다. 이는 동일이송에서 생성된 절단칩의 두께가 상대적으로 두껍고 칩의 길이가 짧기 때문이다. CDB-S I의 경우는 나머지 강에 비해 칩절단지수값이 높았으며, 이는 나머지 피삭강에 비해 길이가 짧고 칩이 두껍게 생성되었기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 최근 국내에서 개발된 냉간인발 Bi-S 쾌삭강, 일본에서 제조된 냉간인발 Pb-S 쾌삭강, 쾌삭강의 소재로 개발된 열간압연강 HR10C, 기계구조용강 SM10C 및 SM45C의 칩생성특성을 비교평가하기 위한 파라미터로 칩단면적비를 도입하였다.

냉간인발 Bi-S, Pb-S 쾌삭강 및 SM45C의 칩단면적비는 쾌삭첨가물이 첨가되지 않은 저탄소강인 SM10C에 비해 상당히 낮은 수준의 값을 나타내고 있다. HR10C의 칩단면적비는 SM10C에 비해 상당히 작은 값을 나타내지만, Bi-S, Pb-S 및 SM45C보다는 약간 큰 값을 나타내고 있다.

피삭재 및 절삭조건에 따른 전단변형률값의 변화는 칩단면적비값과 비슷한 변화양상을 나타내며 전단응력값은 탄소함유량에 크게 의존한다.

쾌삭첨가물의 작용으로 칩절단특성은 크게 개선된다.

참고 문헌

1. Debanshu Bhattacharya, "Machinability of Steel", J. of Metals, pp. 32-35, 1987.
2. J. C. Hamann, V. Grolleau, F. Le Maitre, "Machinability Improvement of Steels at High Cutting Speed - Study of Tool/Work Material Interaction", Annals of the CIRP Vol. 45/1, pp. 87-92, 1996.
3. 조삼규, "Bi-S계 쾌삭강의 고온연성에 대한 열간 압연 및 Bi의 영향", 대한금속학회지, 제34권, 제7호, pp. 822-829, 1996.
4. 이영문, 최원식, 송태성, 박태준, 장은실, "3차원 절삭시 칩 공구 마찰 및 전단 특성 해석", 한국정밀공학회지, 제16권, 6호 pp. 190-196, 1999
5. M. C. Shaw, and I. Finnie, "The Shear Stress in Metal Cutting", Transactions of the ASME, vol. 77, pp.115-125, 1955
6. I. S. Jawahir, N. Qureshi, and J. A. Arescuaratne, "On the Interrelationships of some Machinability Parameters in Finish Turning with Cermet Chip Forming Tool Inserts", Int. J. Mach Tools Manufact. Vol. 32/5, pp. 709-723, 1992.
7. 이영문, 최원식, 장승일, 허인호, "칩절단지수에 의한 칩절단특성 평가", 대한기계학회논문집, A 권, 제22권 제11호, pp.1989-1997, 1998.