한국공작기계학회논문집 Vol.12 No.1 2003. 2.
Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers

강판의 CNC 가스 절단시 절단면특성에 관한 연구

김성일*

(논문접수일 2002. 5. 27, 심사완료일 2002. 12. 2)

A Study on the Cutting Surface Characteristics in CNC Gas Cutting of Plate Steel

Seong-Il Kim*

Abstract

In the gas cutting of plate steel, the quality of the cut surfaces and sections is strongly dependent on the cutting conditions such as cutting speed, kerf width, plate thickness, material, distance between tip and specimen, and cutting oxygen pressure etc. The cutting tests of plate steel were carried out using CNC gas cutting machine. This paper deals with cut surface and section characteristics of plate steel in CNC gas cutting. Both top and bottom widths of kerf, the surface roughness(Ra, Rmax) of cutting surfaces are measured under various cutting conditions such as cutting speed, material, distance between tip and specimen, and cutting thickness. The photographs of cut surface and cut section are also analyzed under various cutting conditions.

Key Words : Cutting speed(절단속도), Kerf width(절폭), CNC gas cutting machine(CNC 가스절단기), Top and bottom width of kerf(절단홈의 위와 아래폭), Surface roughness(표면거칠기), Distance between tip and specimen(팁과 모재와의 거리)

1. 서 론

선박건조에 있어서 절단공정은 선박생산공정의 첫 단계이고, 선체를 구성하고 있는 모든 부재는 절단공정을 거쳐서 만들어진다. 절단공정에서 가공물의 정확도 및 가공상태는 후공정 즉, 조립공정과 탑재공정에 큰 영향을 미쳐 생산성에 영향을 주므로 정도 높은 절단작업이 요구되고 있다[1,2,3,7].

절단가공 방법으로는 열 에너지를 이용하여 피 절단재를 국부적으로 가열 용융 및 분리시키는 가스절단 방법이 20세기 초에 개발된 이래, 플라즈마, 레이저 절단 등 가공물의 다양성, 복잡성, 정밀성 등의 요구에 따라 여러 단계에 걸쳐 발달되어 왔다[4,5,6]. 현장에서 많이 사용되고 있는 가스를 사용하는 절단은 수동절단, 직선 및 곡선 반자동절단, NC절단으로 발달되어 왔다. 최근 절단의 자동화 및 절단능력의 향상을 위해 CNC 절단기가 개발되어 보급되면서 절단능력과 품질의 향상을 위한 네스팅 및 NC 절단을 위한

* 주저자, 대불대학교 자동화기계공학과 (sikim@mail.daebul.ac.kr)
주소: 526-702 전남 영암군 삼호면 산호리 72번지

가공경로 생성 방법에 관한 연구[8]가 있지만, 절단정도에 영향을 주는 요소 즉, 절단조건이 다양하기 때문에 아직도 체계적인 자료가 없어 이에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 선박 건조현장에서 많이 사용되고 있는 강판을 CNC 가스절단기를 사용하여 절단속도, 절단두께, 절단 산소압력, 절단 팁과 모재와의 거리 등 절단조건을 변화시켜 절단한 후, 절단면의 형상 및 절단단면의 형상을 살펴보고 또한 절단면의 표면거칠기, 절단 윗폭과 아래 폭을 측정하여 절단면 및 절단단면의 특성을 규명하고자 한다.

2. 가스절단의 원리

가스 절단[1]은 순수한 산소와 가열된 금속의 화학적인 반응(산화)에 의하여 발생된 열이 금속을 녹여 내어 절단이 이루어지기 때문에, 연료가스 불꽃으로 피절단재를 반응에 필요한 온도 이상으로 유지시키는 것이 필요하다. 가스절단은 Fig. 1에서 보듯이 모재를 800～900℃예열염으로 예열하여 모재가 용융되면, 고압의 절단산소를 불어 절단한다. 절단방향으로 토치가 이동하면서 용융금속은 토치 반대편 방향인 그림의 A, B, C를 따라 흘러 배출되면서 드래그라인을 생성한다. 절단속도가 늦으면 드래그라인이 절단 진행방향에 거의 수직이 된다. 그러나 속도가 빨라지면 A점 부근은 절단진행방향에 수직, B점 부근은 경사를 이루고, 용융금속이 배출되는 C점 부근은 절단산소의 속도 저하, 슬래그의 방해, 산소의 오염 등으로 산화작용과 절단이 느려져 절단폭도 넓어지고, 아래면은 슬래그도 부착된다[11]. 절단홈의 형성 및 주위의 조직구성은 Fig. 2와 같고, 절단은 B, C보다 반응밀도가 높은 A방향으로 진행된다.

이러한 가스 절단법의 특성에 따라 대단히 두꺼운 부재도 절단할 수 있으며, 필요에 따라서는 여러 장을 겹쳐서 절단할 수도 있다. 가스절단의 종류로는 산소-아세틸렌, 산소-에틸렌, 산소-프로판, 분말절단이 있다. 이중 산소-프로판 절단은 예열의 경우 열이 퍼지는 경향이 있음으로 절단개시까지는 시간이 걸리나, 일단 절단을 시작하면 아세틸렌에 비해 절단속도가 빠르고, 슬래그의 유동성도 양호하며 절단면도 깨끗하여, 특히 두꺼운 물체의 절단의 경우에 아세틸렌 절단보다 유리하다.

3. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 장치의 자세한 사양은 Table 1과 같으며, 시편은 일반구조용강판과 고장력강판 2종류이다. 시편의 크기는 200mm×1000mm(W×L), 두께는 12mm와 14mm 2종류를 사용하였다. 실험에 사용한 절단 팁(Tip)은 스트레이트(Straight)형을 사용하였으며, 산소압력은 3.2(일반구조용강판: 시편 A)와 4.5 kg/㎠(고장력강판: 시편 B) 2 조건, LPG 압력은 1kg/㎠, 예열시간은 21.6sec로 하였다. 절단속도는 100～900mm/min범위를 9단계로 하였으며, 자세한 절단조건은 Table 2와 같다.

Photo. 1은 CNC절단기를 보여주고 있고, 실험에 사용한

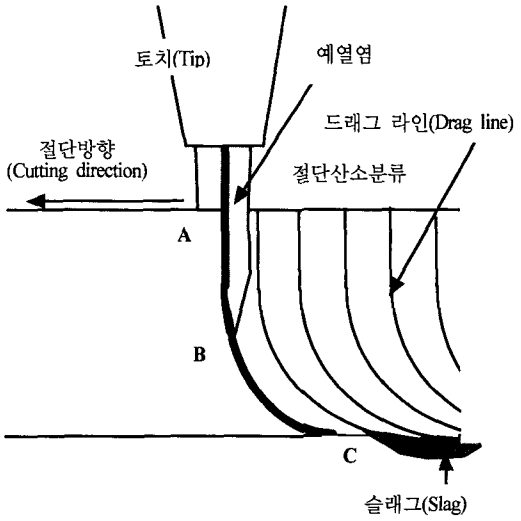


Fig. 1 Drag line and cutting process in gas cutting

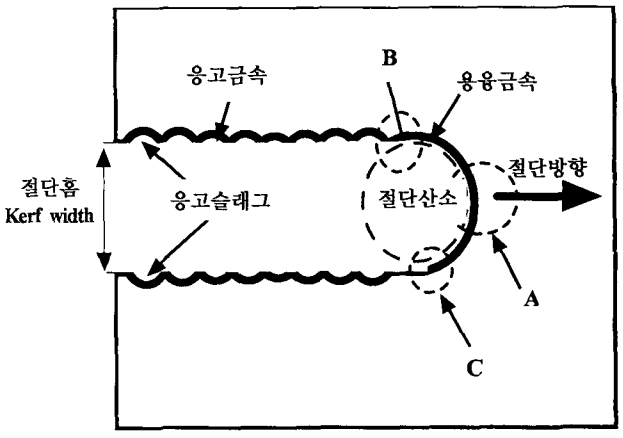


Fig. 2 The formation of cutting hole

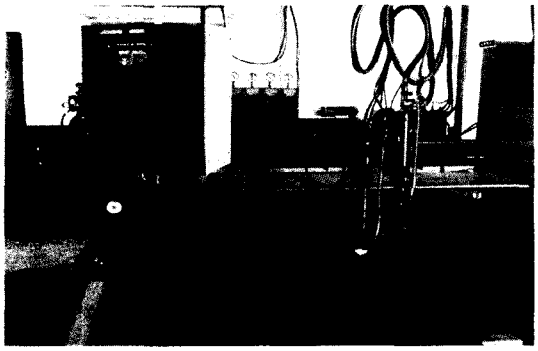


Photo. 1 CNC cutting machine

Photo. 2 The specimen and cutting process

시편과 절단과정은 Photo. 2와 같다. 절단실험 순서는 Photo. 2와 Fig. 3에서 보듯이 한 시편을 가지고 시편 폭 200mm 중 절단면과 절단 폭을 측정할 수 있도록 폭 방향으로 150mm까지 하였고, 계속하여 시편의 길이 1000mm 중 길이방향으로 60～80mm 간격을 두고 실시하였다.

절단면과 절단단면을 보기 위해 예열시작 부위에서 100mm 위치를 밴드쏘잉머신으로 절단한 후, 절단면과 절단 단면을 디지털카메라로 촬영하였다. 절단면의 위 홈폭과 아래 홈폭의 측정은 정해진 절단폭 측정위치인 110mm부근을 디지털 버어니어켈리퍼스로 측정하였다. 자세한 절단단면 촬영 위치, 절단면 촬영위치, 절단폭 측정위치는 Fig. 3과 같다.

또한 절단면의 표면거칠기 측정은 이동형 표면거칠기 측정기를 사용하여 중심선 표면거칠기(Ra), 최대높이 표면거칠기(Rmax)를 정해진 절단면 촬영위치 중 시편두께의 중앙 3곳에서 측정하였다. 표면거칠기 측정시 cut-off는 0.8mm, 측정반복상수(n)는 3으로 설정하였다. 따라서 표면거칠기의

Table 1 The specifications of experimental apparatus

CNC cutting machine	- Duty oxy-fuel and plasma cutting - CNC controller : Hybrid-D11 - Cutting speed :100～4000mm/min - Maximum cut length : 3100mm - Power : AC 100～440V, 0.74KVA - Rack & pinion drive
Portable surface roughness tester	- Model : Surftest 301 - Mitutoyo Co. - Measuring range * Ra : 0.05～40㎛ * Rmax(Ry) : 0.3～160㎛ - Cutoff length(λ c) :0.25,0.8,2.5mm - Sampling length(L) :0.25, 0.8, 2.5, 8mm
Digital camera	- Model : FinePix4900Zoom - Resolution : 2400×1800 - Pixel : 4.3 million - Focal distance : 35mm～210mm puls macro

Table 2 Cutting conditions

Cutting speed (mm/min)	200～800(7 step, Specimen A) 100～900(9 step, Specimen B)
Cutting oxygen pressure(kg/㎠)	3.2 (Specimen A) 4.5 (Specimen B)
Distance between tip and specimen (mm)	2.5, 3.5
Thickness of specimen (mm)	12, 14

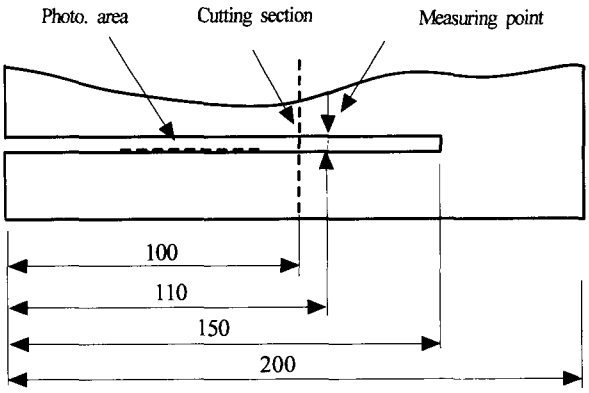


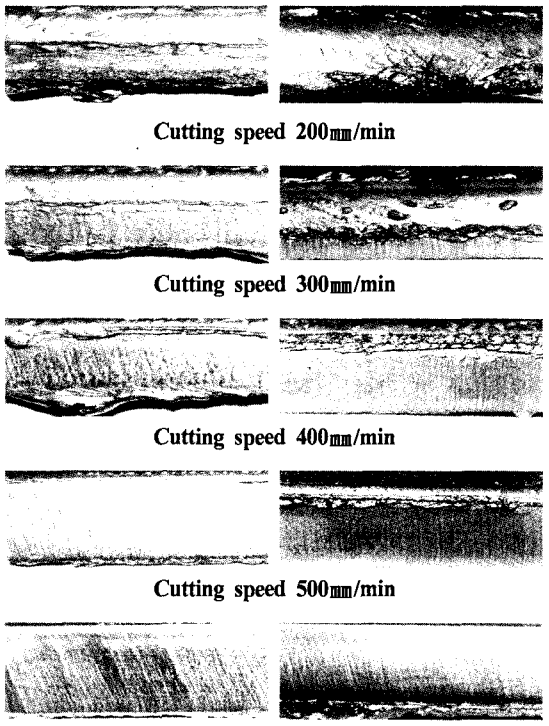
Fig. 3 The dimension and shape of specimen

traversing length는 start-up(1mm)를 포함하여 총 3.4mm 가 된다.

4. 실험결과 및 고찰

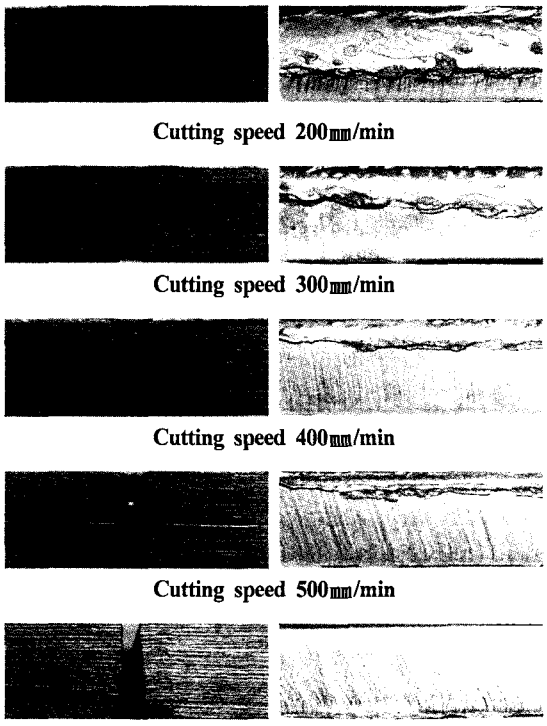
Photo. 3의 (a)는 팁과 모재와의 거리 3.5mm, 절단두께 14mm, (b)는 팁과 모재와의 거리 2.5mm, 절단두께 12mm 조건에서, 절단속도에 따른 절단면을 보여준다. 절단두께에 따라 약간의 차이는 있지만 절단속도가 늦으면 절단면의 윗면이 많이 용융됨을 보여주고 있고, 속도가 증가함에 따라 절단윗면의 용융이 적어지고 드래그선이 보이기 시작한다. 속도가 더 증가하면 절단 윗면의 용융이 거의 없어지고 드래그선이 거칠어지며, 절단 아랫면은 슬래그가 부착되었다. (a)와 (b)를 비교하여 보면, 팁과 모재와의 거리가 3.5mm 인 (a)의 경우가 속도 증가에 따라 윗면 용융이 빨리 없어지고, 절단면 상태도 양호하며 아랫면의 슬래그도 적음을 볼 수 있다.

Photo. 4는 토치의 팁과 모재와의 거리 2.5mm, 절단두께 14mm인 조건에서, 절단속도에 따른 절단단면과 절단단면의 우측 절단면을 보여준다. 속도 증가에 따라 윗면 용융(V 홈 형상)이 없어지기 시작하며 드래그선이 보이고, 양호한 절단조건에서는 절단면 및 절단 단면 상태도 양호하며 아랫면의 슬래그도 적음을 볼 수 있다. 이는 절단단면과 절단면이 절단속도에 영향이 있음을 보여주는 것이다. 절단속도가 700㎜/min 에서는 절단이 중단되었다. 이는 절단속도를 증가시키면 절단속도가 빨라 미처 예열이 되지 않은 상태에서 절단이 시작되기 때문이고 혹은 절단이 되더라도 멈추는 것은 절단홈의 상부의 연소에 산소가 많이 소비되고, 판의 하부에는 반응을 일으킬 수 있는 고순도의 산소가 공급되지 않기 때문이다.



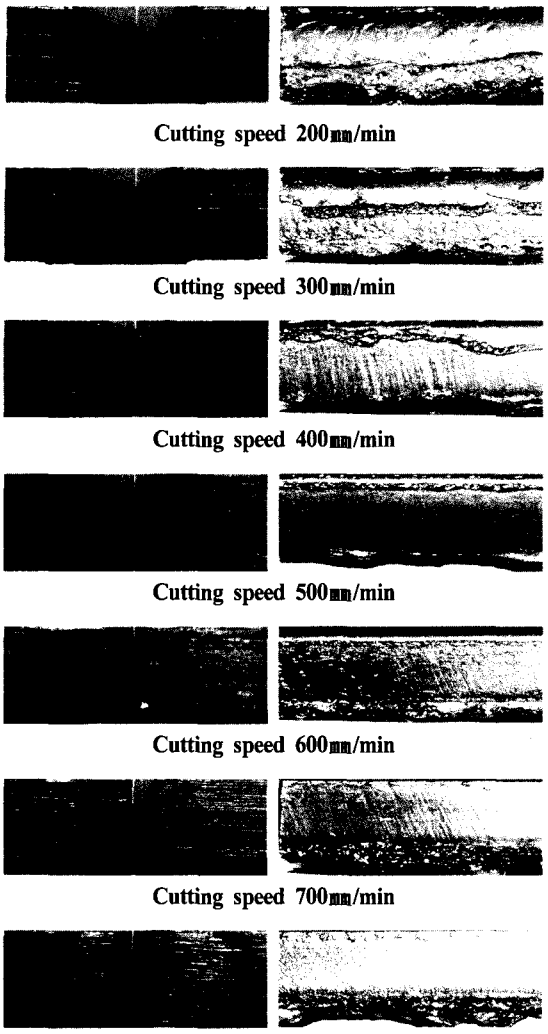
(a) Cutting thickness=14mm (b) Cutting thickness=12mm

Photo. 3 Cutting surface at various cutting speed (Distance between tip and specimen (a)=3.5mm, (b)=2.5mm)



(a) Shape of cutting section (b) Cutting surface(Right surface)

Photo. 4 Shape of cutting section and cutting surface at various cutting speed (Distance between tip and specimen=2.5mm, Cutting thickness=14mm)



(a) Shape of cutting section (b) Cutting surface(Right surface)

Photo. 5 Shape of cutting section and cutting surface at various cutting speed (Distance between tip and specimen=3.5mm, Cutting thickness=12mm)

Photo. 5는 팁과 모재와의 거리 3.5mm, 절단모재 두께 12mm의 조건에서, 절단속도의 변화에 따른 절단 단면과 절단면의 우측을 보여주는 사진이다. 절단속도가 낮을 때는 절단윗면의 폭이 용융되어 넓지만, 절단속도가 증가하면서 윗면의 폭과 아랫면의 폭이 같아지고, 더 증가하면 절단 아랫면의 폭이 윗면의 폭보다 약간 넓음을 보여주고 있으며, 슬래그도 부착되었다.

Fig. 4는 팁과 모재와의 거리 2.5mm, 절단모재 두께 14 mm의 조건(Photo. 4 참조), Fig. 5는 팁과 모재와의 거리 3.5mm, 절단 두께 12mm 조건(Photo. 5 참조)에서 절단속도 변화에 따른 절단 윗폭(Top width of kerf, Wt)과 아래폭(Bottom width of kerf, Wb)을 보여주는 것이다. 속도가 낮을 때는 절단 윗면의 폭이 넓고, 속도가 빠를 때는 아랫면의 폭이 넓어짐을 볼 수 있다. 이는 절단홈의 아래로 갈수록 슬래그의 방해, 산소의 오염, Fig. 1과 같이 절단산소 속도의 저하 등에 의해 산화작용과 절단이 느려져 절단면이 거칠어지기 때문이다. 또한 절단홈의 밑으로 갈수록 산소분류가 맥동되어 절단폭이 넓어지기 때문이다.

Fig. 6은 팁과 모재와의 거리 2.5mm, 절단 두께 12mm (Photo. 3 (b) 참조), Fig. 7은 팁과 모재와의 거리 3.5mm,

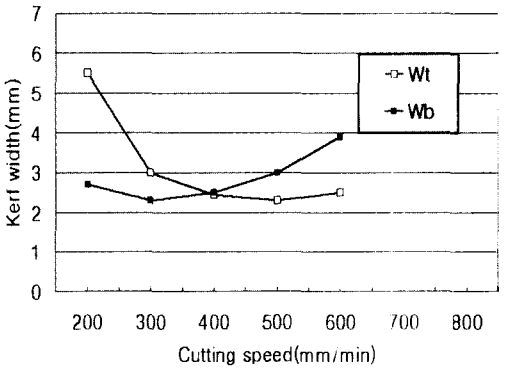


Fig. 4 Kerf width vs. cutting speed(Distance between tip and specimen=2.5mm, Cutting thickness=14mm)

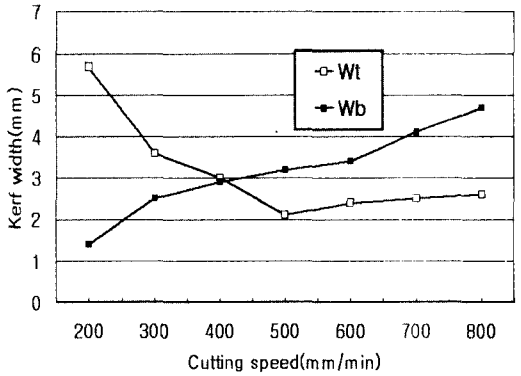


Fig. 5 Kerf width vs. cutting speed(Distance between tip and specimen=3.5mm, Cutting thickness=12mm)

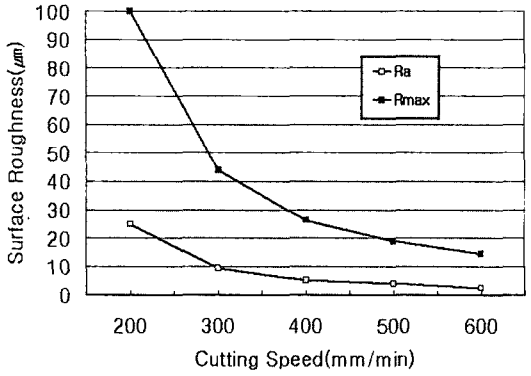


Fig. 6 Surface roughness vs. cutting speed(Distance between tip and specimen =2.5mm, Cutting thickness=12mm)

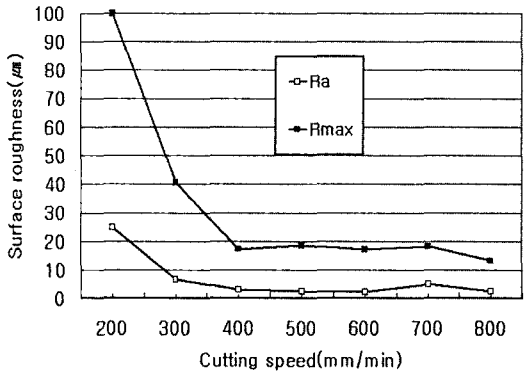


Fig. 7 Surface roughness vs. cutting speed(Distance between tip and specimen=3.5mm, Cutting thickness=12mm)

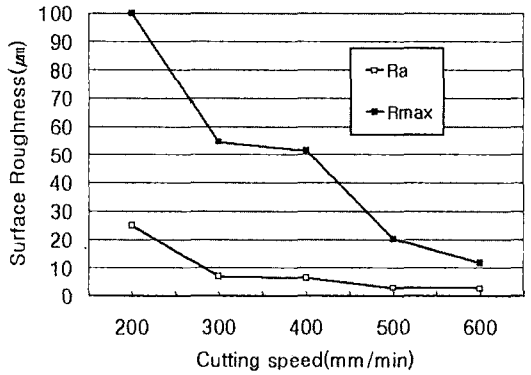
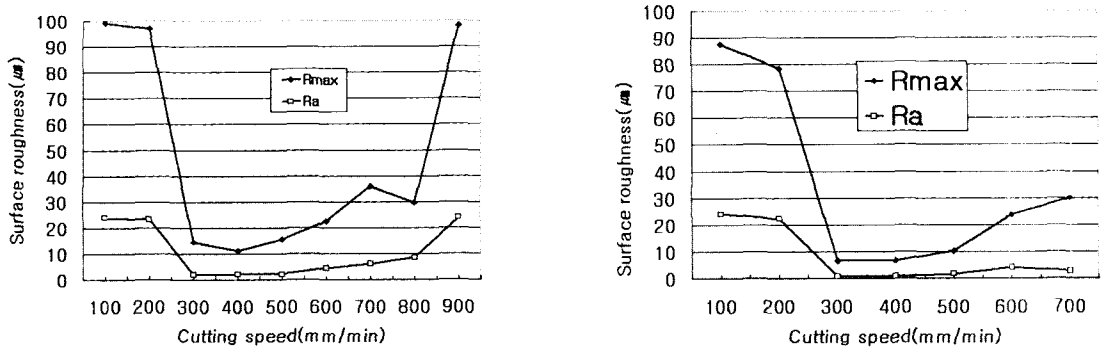


Fig. 8 Surface roughness vs. cutting speed(Distance between tip and specimen=3.5mm, Cutting thickness=14mm)

절단 두께 12mm(Photo. 5 참조), Fig. 8은 팁과 모재와의 거리 3.5mm, 절단두께 14mm의 조건(Photo. 3 (a) 참조)에서, 절단속도의 변화에 따른 절단면의 중심선 표면거칠기(Ra)와 최대높이 표면거칠기(Rmax)를 보여준다. 절단속도가 낮은 200mm/min는 절단면의 용융으로 인하여 표면거칠기 측정부위가 표면거칠기 측정기로 측정할 수 없을 정도로 거칠어 표면거칠기 측정값의 한계값으로 표시하였다. 속도가 증가할 수록 표면거칠기는 양호함을 보여주고 있다. 그러나 이는 실제 양호한 절단면은 아니지만 거칠기의 측정위치가 절단두께 중앙부 위치이기 때문에, 이 위치 아래에서 발생한 거친 드래그 라인이 측정되지 않아 절단속도가 빠를 때도 거칠기 값이 좋게 측정되었을 뿐이다. 표면거칠기 측면만을 본다면 속도가 빠를 때가 좋은 절단면이라 생각되지만, 사진(Photo. 3, 4, 5 참조)을 참고하여 함께 보면 절단속도가 빠르면 절단면 아래폭이 약간 넓어지면서 평면도, 직각도도 좋지 않을 뿐더러 슬래그도 부착되어 좋은 절단면이라고 말할 수 없다. 따라서 양호한 절단면을 얻으려면 표면거칠기, 절단단면, 슬래그도 함께 생각해야 됨을 보여주고 있다.

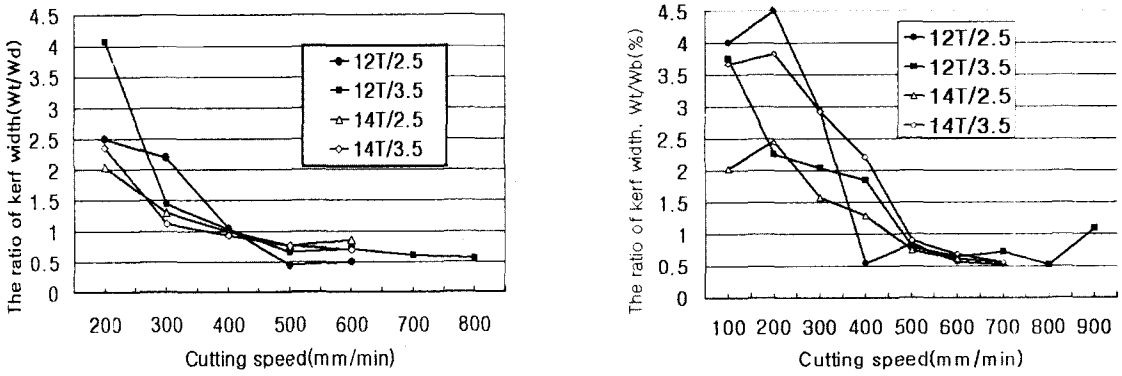
Fig. 9는 고장력강(AH36)을 팁과 모재와의 거리 3.5mm, 강판 두께 12와 14mm, 산소압력 4.5kg/㎠ 조건으로 절단했을 때, 절단속도의 변화에 따른 절단면의 표면거칠기를 보여준다. 12T에서는 900mm/min, 14T에서는 700mm/min까지 절단되었다. 그림 (a)에서 절단속도가 낮을 때의 거칠기는 모재가 용융되어 측정할 수 없었고, 절단속도가 높을 때는 드래그라인이 거칠고 평면이 아닌 홈이 파여져 표면거칠기 측정값 이상으로 나와 측정이 불가능하여 표면거칠기 측정 한계 데이터로 표시하였다. 그림 (b)를 보면 절단속도가 낮을 때의 거칠기는 모재가 용융되어 측정값이 높았고, 300 mm/min 이상부터 좋아지다가 다시 거칠어졌다. 이는 산소절단 압력이 높아 거친 드래그 라인 부분 및 홀 형상이 발생되는 부분이 거칠기 측정부위인 중앙부의 위까지 발생되어 거친 거칠기 값이 측정되었기 때문이다.

Fig. 10은 팁과 모재와의 거리를 2.5와 3.5mm 2 단계, 절단모재 두께 12와 14mm 2종류 조건에서 절단속도의 변화에 따른 절단 단면의 절단 윗면 폭(Top width of kerf, Wt)과 출구폭(Bottom width of kerf, Wb)과의 비(Wt/Wb)를 절단속도의 증가에 따라 보인 것으로, (a)일반구조용강 (b)는 고장력강이다. 절단속도가 증가하면서 절단 윗면보다 아랫면이 더 넓어짐을 볼 수 있었다. 절단폭 비(Wt/Wb)는 감소하다가 1에 근접하며 속도가 더 증가하면 1이하로 작



(a) Cutting thickness = 12mm (b) Cutting thickness = 14mm

Fig. 9 Surface roughness vs. cutting speed(Distance between tip and specimen=3.5mm, High tensile steel plate)



(a) Mild steel plate (b) High tensile steel plate

Fig. 10 The ratio of kerf width(Wt/Wb) vs. cutting speed(Distance between tip and specimen=2.5, 3.5mm, Thickness of steel plate=12T, 14T)

아져 거의 일정해진다. 절단속도, 표면거칠기, 팁과 모재와의 거리 면에서 종합하여 보면 (a)는 절단폭 비가 1 바로 아래의 속도인 500mm/min 부근에서, (b)도 절단폭 비가 1 바로 아래의 속도인 500～600mm/min 부근에서 절단면이 양호함을 볼 수 있었다. (b)는 절단 산소압력이 높기 때문에 한계 절단속도가 높았다. 실험 결과를 종합해 보면 양질의 절단면을 얻기 위해서는 팁과 모재와의 간격, 절단속도, 절단두께, 절단 산소압력 등을 고려해야만 함을 보여준다.

5. 결 론

(1) 절단속도가 늦으면 절단면의 윗면이 많이 용융되고, 속도가 증가함에 따라 절단윗면의 용융이 적어지고 드래그 라인이 나타나며, 속도가 더 증가하면 절단 아랫면은 슬래그가 부착되었다.

(2) 속도가 증가할수록 표면거칠기는 양호함을 보여주고 있지만, 양호한 면을 보여주는 속도 이상에서부터는 슬래그의 부착이 많아짐을 볼 수 있었다. 따라서 절단면의 판단시 표면 거칠기만이 아닌 슬래그의 부착도 함께 판단해야 한다.

(3) 절단속도가 증가해가면서 절단 아랫면의 폭이 증가하고, 절단폭 비(Wt/Wb)는 감소하다가 1에 근접하며 속도가 더 증가하면 1이하로 작아져 거의 일정해진다.

(4) 절단단면, 표면거칠기, 절단면과 절단폭 비(Wt/Wb), 절

단압력, 슬래그 등을 종합해서 판단하면 절단폭 비가 1 바로 아래의 속도 부근에서 양호한 절단면이 얻어진다.

참 고 문 헌

(1) 대한용접학회, 용접접합편람, pp. 685～716, 1998.

(2) 대한조선학회편, 선박건조공학, 동명사, pp. 140～149, 1998.

(3) 김지온, 정수원, 박동환, "Gas절단과 절단품질에 대한 고찰", 技術現代, Vol. 12, No. 3, pp. 65～74, 1992.

(4) 엄기원, 김동조, "플라즈마 아크를 이용한 판재료의 절단현상에 관한 연구", 대한용접학회지, 제9권, 제4호, pp. 69～74, 1991.

(5) 한국찬, 나석주, "레이저 절단공정에서의 토치 경로생성에 관한 연구", 대한기계학회논문집, Vol. 20, No. 6, pp. 223～231, 1996.

(6) 이성환, 민헌식, 안선응, "AE센서를 이용한 레이저 용융 절단 모니터링", 한국공작기계학회논문집, Vol. 11, No. 3, pp. 39～44, 2002.

(7) 中西, "ガス切斷の豫熱炎に關する研究," 溶接學會誌, pp. 37～40, 1968.

(8) 이철수, 박광열, "선박용 플랫바의 자동네스팅 및 가스/플라즈마에 의한 NC절단", 대한산업공학회논문집, Vol. 9, No. 3, pp. 283～297, 1996.

(9) 新版接合技術総覧編輯委員會, "新版接合技術総覧", 株式會社産業技術 Service Center, pp. 511～526, 1994.

(10) 接合・溶接技術 Q&A1000編輯委員会, "接合・溶接技術 Q&A1000", 株式會社産業技術 Service Center, pp. 778～787, 1999.

(11) 新版切断技術総覧編輯委員会, "新版切断技術総覧", 株式會社産業技術 Service Center, pp. 321～366, 1985.