

제관용 S17C의 소재온도에 따른 가공성 평가

정영훈*, 김전하(부산대 대학원), 강명창, 김정석(부산대 기계공학부), 김정근(동부스틸(주))

Machinability Evaluation of S17C Steel according to Workpiece Temperature

Y. H. Chung, J. H. Kim, M. C. Kang, J. S. Kim, J. k. Kim

Abstract

In the part industry, pipe has required high accuracy in surface roughness and size. Especially, when producing the high frequency welding pipe, cutting process is very important as the finishing process that remove the hot welding bead. The objective of this paper is to investigate the hot machining high frequency welded pipe by simulation and experimental tests. To test the cutting process as hot machining, all cutting environment is reproduced in turning with heating system, and the test is accomplished by comparing with room temperature machining and hot machining in consideration of cutting force, tool wear and cutting temperature.

Key Words

Hot machining(열간가공), Welding bead(용접 비드), Tool wear(공구마멸), Cutting force(절삭력), Cutting temperature(절삭온도)

1. 서론

현재 생산되는 강관 중에서 S17C는 부품용 강관의 재종으로 주로 쓰이고 있으며, 이러한 강관의 생산기술로 고주파유도용접 제관법이 사용되고 있다. 주요공정으로 고주파용접과 용접비드부의 절삭공정이 있는데 고주파용접이란, 유도전류를 이용하여 모재의 접합면에 국부적인 고열을

발생시키고, 이 열로서 용접이 이루어지는 공정이다. 절삭공정은 용접 시 발생한 용접비드를 제거하기 위한 공정으로서 강관의 표면정도, 형상오차 등 강관의 품질에 직접적으로 관여하는 중요한 마무리 공정이 된다. Fig. 1은 고주파 유도용접 제관법의 개요이다^[1].

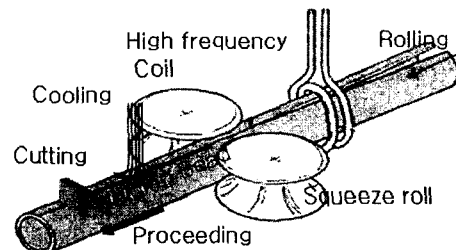


Fig. 1 Pipe production by high Frequency welding method

고주파용접 시, 모재의 접합부에는 재결정온도(약700℃)정도까지의 상당한 온도상승이 발생하게 되고, 이 열은 마무리공정인 절삭공정에 심각한 영향을 끼치게 된다. 재결정온도까지 상승한 온도는 소재의 경도를 변화시켜 절삭력에 대한 변화를 가져오고, 공구수명에 영향을 준다^[2-4].

HRC 50이상의 고경도 강재의 경우 임의의 열을 가함으로써 소재를 연화시켜 절삭저항을 줄이고 가공효율성을 높이는 열간가공법(Hot machining)이라는 절삭기법을 사용하기도 한다. 그러나 강관 소재인 S17C의 경우, 경도가 10HRC 정도인 저경도 소재이다.^[5-7]

본 연구에서는 소재가 재결정온도까지 가열된 후 가공되는 이른바 열간가공이 행해졌을 경

우, 어떠한 가공특성을 보이는지를 절삭력 및 공구수명 측면에서 온간가공과 비교·분석하였다. 또한 전용 해석프로그램을 이용하여 실험 결과와 비교 고찰하였다.

2. 실험적 배경

일반적으로 강관은 유체 수송용, 기계의 구조물, 일반 구조물용 등 광범위하게 사용된다. 이음매 없는 강관과, 이음매강관으로 구분된다. 이음매 없는 강관은, 전기로 등에 의해서 만들어진 질이 좋은 강철을 냉간인발법으로 만든다. 이음매강관은 강관을 말아 원통형으로 만들어 전기용접 또는 가스용접을 하여 만드는 용접강관, 리벳으로 접합한 리벳 이음매강관 등이 있다. 용접강관은 고압용으로, 리벳 이음매강관은 저압용으로 사용된다. 그러나 이러한 파이프의 용접에는 국부가열 방식을 가지는 고주파 유도가열 장치를 사용하는데 이 용접 방식은 에너지 효율과 설비 비용을 절감하며, 전기용접과 같은 접촉 전극이 필요 없으므로 운전이 극히 안정적이다. 이러한 장점을 가지는 고주파 용접은 350~450Hz의 고주파 유도 전류를 이용하여 연속적으로 용접하여 파이프를 가압/용접함과 더불어, 용접 후 발생하는 용접 비드(Bead) 제거기술이 필요하다.

강관의 제조공정에서의 성형, 용접, 절삭 등의 핵심 공정과 기타 가공, 실험 및 포장 공정 등으로 나뉘어진다. 성형공정은 롤러를 이용하여 판재를 파이프의 형태로 둥글게 말아 올리는 공정이다. 용접공정에서는 둥글게 말려있는 파이프의 이음부의 고주파 용접이 행해진다. 절삭공정은 용접공정에서 발생한 용접비드부를 제거하는 마무리 공정이 된다.

용접부의 용접열은 강관의 표면특성을 변화시키고 이는 강관의 품질 뿐만 아니라 용접비드 제거시 진동과 충격으로 공구의 수명을 저하시켜 생산성과 정밀도를 현저하게 저하시키게 되는 원인이 된다. 따라서 용접비드 제거면의 정밀도향상을 위한 절삭가공 기술이 필요하다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치 및 방법

실험 장치 및 조건은 현재 적용되고 있는 현

장에서의 가공조건을 선반에서 최대한 재현하고자 하였다. 그리고 현장조건을 적용시킨 열간가공과 비교평가를 위한 온간가공을 행하였다. 절삭력 평가실험을 위한 선반용 실험장치와 사양은 Fig. 2와 Table 1과 같이 구성하였다.

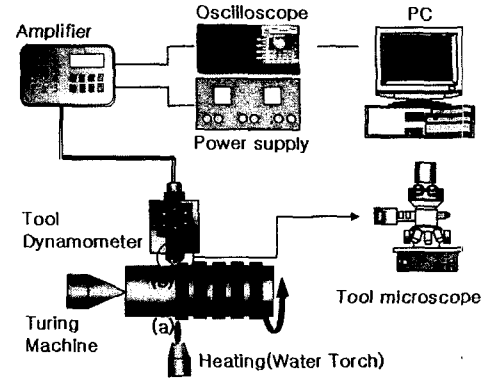


Fig. 2 Experimental setup

Table 1 Specifications of Instruments

Instrument	Specifications
Turning Machine	Stepless speed driven lathe
Tool Dynamometer	9257B(Kistler)
Oscilloscope	Lecroy LT224 (4Ch 200Mhz)
Amplitude	5019A(Kistler)
Heating System	Water Torch (~1300℃)
Temperature Measurement	TA-0510F(-50~1000℃)
Tool microscope	(x50~x200)

가열부(a)에서는 용접이 이루어지는 온도인 900℃까지 워터토치를 사용하여 가열한 후, 절삭부(b)에서는 200℃가 되어 절삭이 가능하도록 조절하였다. 이는 용접 후 절삭유제에 의한 냉각이 이루어지는 현장조건을 적용시킨 것이다.

가공시편을 환봉형상으로 사용하였을 경우, 빠른 열전도가 이루어져 소재의 가열이 어렵기 때문에 효과적인 가열을 위하여, S17C 환봉소재를 Fig 3과 같은 형상으로 제작하여 절삭력을 측정하였고, 공구는 초경계열의 P40/TiN코팅공구를 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 절삭 시뮬레이션

Fig. 4는 열간가공과 온간가공의 온도에 대한 시뮬레이션 결과이다. 열간가공 시에는 585℃, 온간가공 시에는 531℃가 최고 절삭온도로서 공구노우즈 부에 발생하였다. 소재온도에 의해 칩의 두께가 변화함을 관찰할 수 있는데, 이것이 절삭력, 공구마멸 및 표면조도에 영향을 줄 수 있음을 예상할 수 있다.

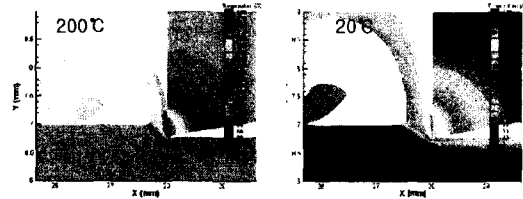


Fig. 4 Cutting temperature by cutting simulation

Fig. 3 Shape of Workpiece

소재온도는 적외선온도 측정장치를 이용하여 확인하였다. 절삭력은 공구동력계 9257B를 이용하여 주분력, 이송분력 방향의 절삭력을 획득하고 이를 전용 앰프로 증폭한 뒤, 디지털오실로스코프로 관찰하였다. 절삭거리 300m간격으로 3,000 m 가공 시까지 측정하였다.

공구마멸은 각 가공별로 절삭거리 기준 500m 간격으로 3,000m까지 공구현미경(x100)을 절삭력을 측정하였다.

가공조건들은 생산현장의 조건을 선반가공의 조건으로 환산하여 Table 2와 같이 적용하였다.

Table 2 Cutting condition

Workpiece		S17C(HrC 10)
Tool		p40(WC)/TiN
Condition	Workpiece temperature	20(상온)[°C] 200(열간)[°C]
	Cutting speed	75m/min
	Depth of cut	1[mm]
	Feedrate	0.222 [mm/rev]
	Relief angle	8°
	Rake angle	0°

3.2 절삭 시뮬레이션

절삭가공은 여러 가지 변수에 의해 영향을 받으며, 이러한 모든 변수들에 대해 실험적인 연구하기는 시간과 비용면에서 비효율적이다. 따라서 본 연구에서는 절삭가공의 유한요소 해석프로그램인 TWA(Third Wave Advantedge)를 이용하여 각각의 변수들에 대해 보다 능률적인 비교 분석을 행하였다. 입력조건들은 Table 2와 동일하다. 온도를 변수로 두고 절삭력과 절삭온도에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

4.2 온간가공 및 열간가공 시의 절삭력

Fig. 5는 선반실험을 통한 온간 및 열간가공의 절삭력을 거리별로 측정하여 비교한 그래프이다. 각 시점별로 초당 1,000개의 데이터를 획득하여 평균치를 구하여 도식화하였다.

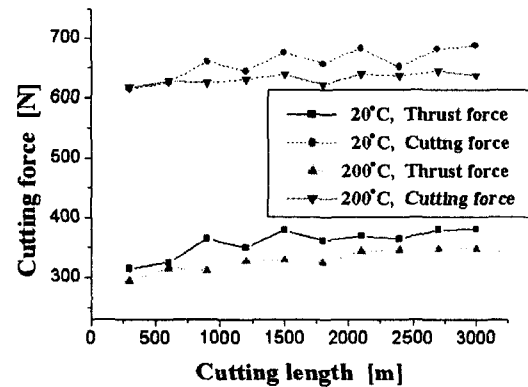


Fig. 5 Measured Cutting force

절삭이 진행되면서 공구마멸과 함께 절삭력이 점진적으로 상승함을 알 수 있고, 소재의 온도에 따라서도 열간가공이 온간가공보다 작은 절삭력을 받게 된다.

본 측정 데이터를 Fig. 6에서 시뮬레이션의 절삭력데이터와 비교한 결과, 상온에서는 두 결

과가 유사함이 관찰되었으나, 200℃에서의 결과는 실험데이터가 다소 높게 나타났다. 이는 시뮬레이션의 경우, 초기온도 설정 시 공구에도 이 초기온도가 적용되어 절삭가공에서 발생한 열의 공구로의 전도가 제대로 이루어지지 않기 때문으로 예상할 수 있다. 그러나 가공 시 열에 의해 절삭력이 감소한다는 경향에서는 실험데이터와 시뮬레이션 데이터간의 그 유사성을 확인할 수 있다.

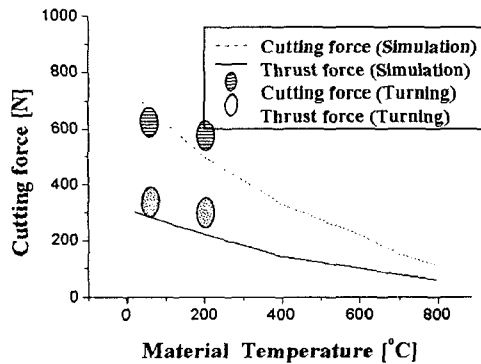


Fig. 6 Cutting force by simulation

4.3 온간가공과 열간가공의 공구마멸

현재 생산현장에서 적용되고 있는 공구마멸은 여유면마멸 0.16mm로서 본 연구에도 동일 규격을 마멸한계로 잡았다. 절삭거리 500m마다 마멸을 측정하여 마멸한계를 초과하는 시점까지 실험하였다.

마멸의 관측부위는 공구의 노우즈(Nose) 부분의 여유면을 관찰하였는데, 이는 생산현장 공구의 최대 마멸부위가 공구의 절삭면 중에서 최저 소재온도를 보이는 위치와 일치한다는 점을 고려한 것이다. 즉 절삭이 이루어지는 바깥쪽 부분(선반가공시 : 공구노우즈)이 최저소재온도가 되어 직접 용접비드를 제거하는 부분(선반가공시 : 측면인선부)보다 경도가 떨어지기 때문이다. 실제로 온간 및 열간의 선반가공 후 공구의 여러 부위를 마멸측정한 결과, 최대마멸이 노우즈측 여유면에서 관찰된 후에도 다른 부위에 눈에 띄는 마멸이 발견되지 않았다. Fig. 7는 공구의 최대 마멸발생 위치에 대한 생산현장에서와 선반가공에서의 물리적 근사성을 보여준다.

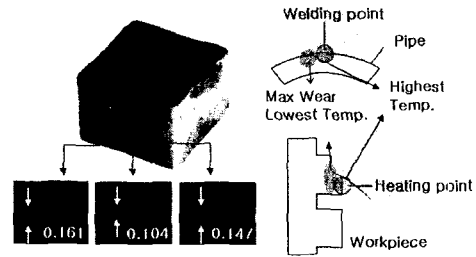


Fig. 7 Position of tool wear

Fig. 8은 현장조건을 선반가공에 적용시킨 후 관찰한 절삭거리에 따른 공구마멸 경향이다. 관찰결과 마멸한계인 0.16mm은 온간가공 시 절삭거리 약 1,600m, 열간가공의 경우 약 2,200m에서 각각 나타났다. 마멸의 진행은 열간가공이 온간가공에 비해 느리고, 열간 및 온간가공 모두 약 500m ~ 1,500m 사이에 다소 급격한 마멸이 발생했다.

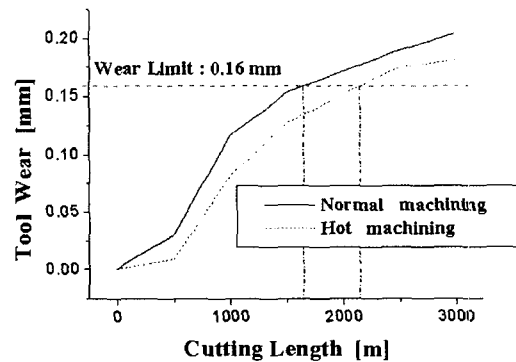


Fig. 8 Tool wear depending on cutting length

Fig. 9은 공구현미경을 이용하여 촬영한 온간가공 및 열간가공의 절삭거리별 공구마멸 형상이다. 마멸이 진행됨에 따라 온간가공과 열간가공 모두 노치(Notch)마멸과 유사한 일정한 패턴을 나타내고 있다.

5. 결론

파이프용 강종인 S17C에 대해, 선반가공에서 용접비드가공 조건을 상사시켜 열간가공과 온간가공의 절삭력 및 공구수명에 대하여 시뮬레이션

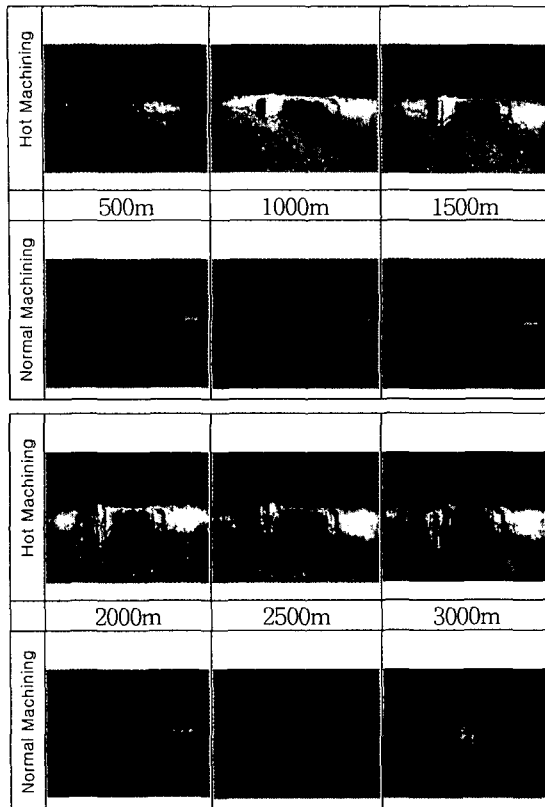


Fig. 9 Pattern of Tool wear

및 실험결과를 비교평가하였다.

온간가공의 경우, 주분력은 약 650N, 이송분력은 350N정도로 시뮬레이션 결과와 유사한 경향을 보였으며, 열간가공이 온간가공에 비해 공구수명 측면에서는 약 1.4배정도 좋은 경향을 보였다. 또한 생산현장에서의 용접비드가공이 온간가공에 비해 작은 절삭력과 적은 공구마멸이 발생함을 추정할 수 있었다.

결과적으로 열간가공 시에 절삭력과 공구마멸을 평가할 수 있는 시스템을 확보하였고, 생산현장에서 용접열에 의한 영향을 간접적으로 파악할 수 있었다.

후기

본 연구는 2002년 중소기업청에서 지원하는 기술혁신개발과제 중, 동부스틸(주)의 결과로서 동부스틸(주) 및 관계자분들께 감사의 뜻을 전함

니다.

참고문헌

1. K. H. lew, "A Study on pipe bending by high Frequency local induction heating", 2002
2. Marcio Bacci da Silva and J. Wallbank, "Cutting temperature : prediction and measurement method a review", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 88, pp. 195-202, 1999
3. Fang Du, Michael R.Lovell and Tim W. Wu, "Boundary element method analysis of temperature fields in coated cutting tools", International Journal of Solids and Structures, Vol. 38, pp. 4557-4570, 2001
4. L.özler, A.İnan" and C.özel, "Theoretical and experimental determination of tool life in hot machining of austenitic manganese steel", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 41, pp. 163-172, 2001
5. P. N. Mutherrjee and S. K. Basu, "Statistical evaluation of metal-cutting parameters in hot machining", Int. J. of Prod. Res. Vol. 11(1), pp. 21-36, 1974
6. K. C. Lo and N. N. S. Chen, "Prediction of tool life in hot machining of alloy steel", Int. J. of Prod. Res. Vol. 15(1), pp. 47-63, 1977
7. T. Kitagawa, K. Meakawa and A. Kubo, "Plasma hot machining for high hardness metals", Bull. J. Sot. of Prec. Eng. Vol. 22(2), pp. 145-151, 1988