

조관공정에서 강관의 정밀도 향상을 위한 가공 기술

정호윤*, 김정석+, 강명창+, 김경수+, 김정근**

Machining technology for precision improvement of steel pipe in tube-mill processing

H. Y. Jeong*, J. S. Kim+, M. C. Kang+, K. S. Kim+, J. K. Kim**

Abstract

This paper presents new skill in tube-mill processing getting the increase in production efficiency and quality in response to the recent request of high grade pipe. In this study, researchers developed the method to improve the precision of pipe and tool life in tube-mill processing. Optimum tool shape is devised by analyzing various simulation and mechanism in cutting process. In order to verify the confidence of the proposed machining technology, it is applied to the real processing machinery in the field.

Key Words

Tube-mill processing(조관공정), Pipe(강관), Precision(정밀도), Tool shape(공구형상), High grade pipe(고급강관)

1. 서 론

각종 기간산업이나 부품산업 등에서 강관은 언제나 기초필수부품으로서 사용되어져 왔다. 특히 산업이 발달함에 따라 강관의 정밀도와 생산성 향상에의 요구가 급증하고 있는 것이 현실이다. 이에 고품질의 강관을 대량생산할 수 있는 공정시스템과 가공기법에 대한 요구가 절실한 실정이다. 강관의 생산기술로서 고주파 유도용접에 의한 제관법이 주로 사용되고 있다. 주요공정으로 고주파

용접과 용접비드부의 절삭공정이 있는데, 고주파 용접이란 유도전류를 이용하여 모재의 접합면에 국부적인 고열을 발생시키고, 이 열로서 용접이 이루어지는 공정이다⁽¹⁾. 그리고 절삭공정은 용접시 발생한 용접비드를 제거하기 위한 공정으로서 강관의 표면정도, 형상오차 등 강관의 품질에 직접적으로 관여하는 중요한 마무리 공정이 된다. 하지만 용접부 비드 제거 시 진동과 충격, 고온은 공구의 수명을 저하시켜 생산성과 정밀도를 현저하게 저하시키게 되는 원인이 된다.

본 연구에서는 내마멸성과 고온경도가 우수한 초미립자 초경소재와 적절한 공구홀더의 형상을 개발함으로써 외경치수정밀도와 표면조도를 향상시켜 이러한 문제점을 개선하고자 한다. 이를 위

*주저자, 부산대학교 정밀기계공학과(sky8701@hanmail.net)
주소: 606-735 부산시 금정구 장전동 산 30번지
+부산대 기계공학부
++동부스틸(주)

해 선반을 이용한 모의용접비드 가공시스템을 구성하여 최적의 공구경사각, 여유각과 공구인선 기울임각을 설정하였고, 소재온도에 따른 절삭력 및 공구마멸을 측정하였으며 충격 및 연속적인 진동이 발생하는 조건에서도 안정된 절삭조건을 유지가 가능하도록 하는 공구홀더(Holder)와 공구소재를 새로이 개발하였다.

2. 고주파용접 제관법

고주파용접 제관법은 강관의 제조공정에서의 성형, 고주파용접 및 절삭 등의 핵심 공정과 기타 가공, 실험 및 포장 공정 등으로 나누어진다. 성형공정은 롤러를 이용하여 판재를 파이프의 형태로 둥글게 말아 올리는 공정이고, 고주파용접공정은 유도전류를 이용하여 모재의 접합면에 국부적인 고열을 발생시키고, 이 열로서 용접이 이루어지는 공정이다. 절삭공정은 용접시 발생한 용접비드를 제거하기 위한 공정으로서, 강관의 표면정도, 형상오차 등 강관의 품질에 직접적으로 관여하는 중요한 마무리공정이 된다. 특히, 고주파유도전류를 이용한 파이프의 용접은 국부가열 방식을 가지는 고주파 유도가열 장치를 사용하는데, 이 용접 방식은 에너지 효율과 설비 비용을 절감시키고, 전기용접과 같은 접촉 전극이 필요 없이 진행되어 안정적인 운전이 가능하다는 것이 특징이다. 고주파 유도전류는 350~450Hz 정도의 주파수를 사용하여 연속적으로 가열하여 파이프를 가압/용접하게 된다. 용접공정 완료 후, 생성된 용접 비드(Bead) 제거기술이 필요하다. 용접시 모재의 접합부에는 약 900℃ 정도까지의 상당한 온도 상승이 발생하게 되는데, 이 열이 소재의 경도를 변화시켜 절삭력의 변화를 가져오고, 공구수명에 영향을 주는 등 마무리공정인 절삭공정에 심각한 영향을 끼치게 된다⁽²⁾⁻⁽⁴⁾.

2. 실험장치 및 실험 방법

2.1 모의 용접비드 가공시스템

강관의 용접비드가공시 생산성 향상과 직결된 것이 공구수명이다. 이에 공구수명에 영향을 미치

는 요인을 평가하기 위해 다양한 공구형상 및 절삭조건을 적용하였고, 절삭력 및 공구마멸 등을 관찰하기 위한 시스템을 구성하였다. 또한 실험장치 및 조건은 현재 적용되고 있는 현장에서의 가공조건을 선반에서 최대한 재현하고자 하였다.

본 실험은 무단변속선반에서 수행하였고, 선반에서 용접비드 가공환경과 유사한 환경을 만들기 위해 실험소재로는 STKM 12B 강관과 동재종인 S17C 환봉을 사용하여 Fig. 1과 같은 형상으로 제작하였다.

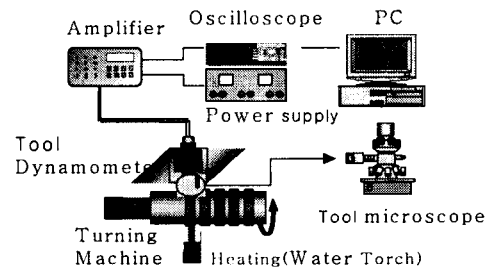


Fig. 1 Experimental setup

이와 같은 실험 형태를 취한 이유로서는 일반 선반용 환봉은 빠른 열전달로 인해 용접비드부와 같은 온도로 가열되지 않기 때문에 S17C 환봉소재를 Fig. 1과 같이 제작함으로써 효과적인 가열과 현장에서의 용접비드부 가공을 선반가공에서 재현하고자 했다. 본 시편의 가열을 위해서, 워터토치(Water torch)를 사용하였다. 시편은 열처리로서 용접이 이루어지는 온도인 900℃까지 가열한 후 절삭유제를 사용하여 현장과 동일한 방식으로 냉각하였다. 절삭가공시에는 가열부에서 워터토치를 사용하여 가열한 후, 절삭부에서는 각 온도별로 절삭이 이루어지도록 하였다.]

Table 1 Cutting conditions

Workpiece		S17C(HrC 10)
Cutting condition	Cutting speed	40m/min
	Depth of cut	0.222[mm]
	Feedrate	0[mm/rev]
Material temperature	20℃, (100℃ ~ 600℃)	

Table 2 Tool shape

		Temp. Test No.1	Test No.2	Test No.3	Test No.4
Tool Geometry	Material	P40 / TiN			
	Geometry	SPMA 451 (40R, ASA)			
	Rake angle	-10	-20° -10° 0° 10° 20°	-10	-10
	Relief angle	10	10	10° 20° 30°	10
	Cutting edge inclination angle	0	0	0	0° 10° 20°

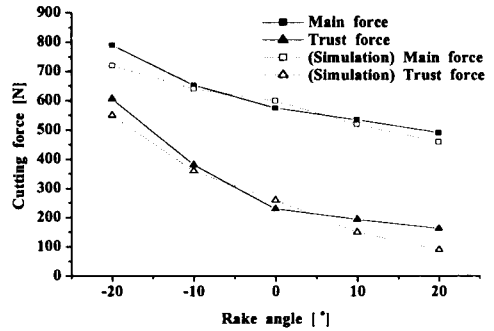
실험은 최대한 현장에서의 가공환경을 재현하기 위해 생산현장의 조건을 선반가공의 조건으로 환산하여 Table 1와 같이 적용하였다.

이를 바탕으로 공구경사각과 여유각, 공구인선기울임각의 변화에 따른 절삭력 및 공구수명 특성을 파악하기 위해 Table 2과 같이 다양한 조건에 대해 실험하였다.

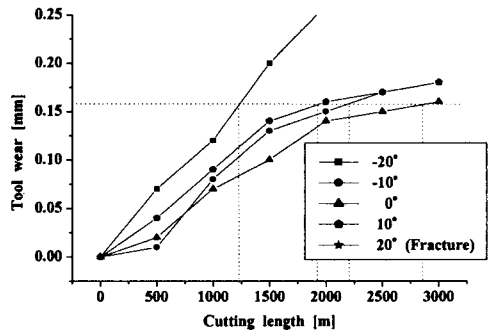
3. 실험결과 및 고찰

3.1 공구경사각(Rake angle)의 영향

공구경사각은 각각 -20°, -10°, 0°, 10°, 20°로 하여 실험하였다. Fig. 2(a)는 공구경사각에 따른 절삭력의 관계를 가공시간에 따라 나타낸 그림이다. 경사각이 증가함에 따라 절삭력이 감소하였다. 음의 경사각에서 0°의 경사각으로 변할 때는 약 26%정도의 절삭력이 감소하나, 0°에서 양의 경사각으로 변할 때는 약 17%정도의 절삭력 감소를 보였다. 또한 Fig. 2(b)는 공구경사각에 대해 절삭거리별 공구마멸을 도식화한 것이다. 공구마멸 역시 경사각이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인다. 그림에서 경사각 0°에서 가장 긴 공구수명을 가짐을 알 수 있다.



(a) Cutting force

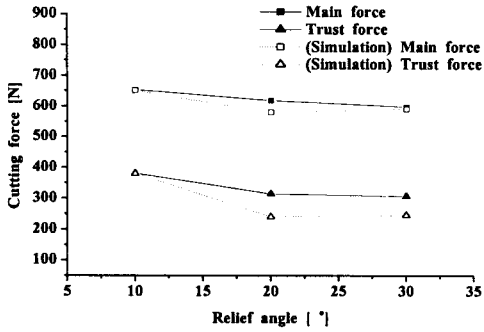


(b) Tool wear

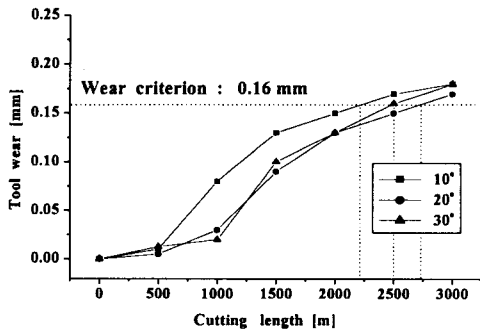
Fig. 2 Cutting force and Tool wear according to rake angle

3.2 공구여유각(Relief angle)의 영향

공구여유각은 각각 10°, 20°, 30°로 하여 실험하였다. Fig. 3(a)는 공구경사각에 따른 절삭력의 관계를 나타낸 그림이다. 실험과 시뮬레이션의 결과에서 최대 약 60N의 절삭력 차이를 보이나, 절삭력 전체변화가 100N 안팎으로 경사각이나 온도변화에 비해 적은 양의 감소를 보였다. 또한 Fig. 3(b)는 공구여유각에 대해 절삭거리별 공구마멸을 나타내었다. 공구마멸 역시 여유각이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였고, 여유각이 20°에서 가장 긴 공구수명을 가짐을 알 수 있었다.



(a) Cutting force



(b) Tool wear

Fig. 3 Cutting force and Tool wear according to relief angle

3.3 공구인선 기울임(Cutting edge inclination angle)각의 영향

Fig. 4에 공구인선 기울임각에 따른 절삭력 관계를 나타내었다. 공구인선 기울임각은 각각 0°, 10°, 20°, 30°로 하여 실험하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 기울임각이 증가함에 따라 음의 경사각일 경우에는 유효경사각(α_e)이 감소하고, 양의 경사각일 경우에는 유효경사각이 증가함을 알 수 있다. 따라서 -10°의 경사각, 10°의 경사각에서는 모두 절삭력이 기울임각에 비례하여 감소하고, -10°에서 절삭력감소 비율이 더 크다. 음의 경사각에서는 기울임각이 0°에서 20°까지 변하는 동안 절삭력은 주분력이 약 30%, 배분력이 약 25% 감소하였고, 양의 경사각의 경우에 0°에서

20°까지 변하는 동안 절삭력은 주분력이 약 20%, 배분력이 약 25% 감소하였다.

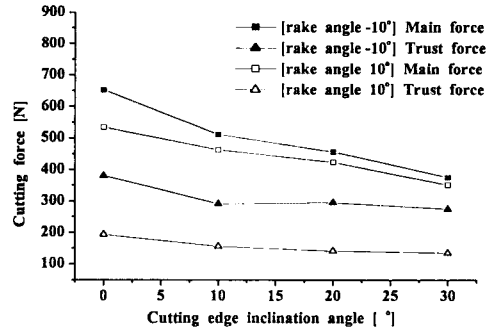


Fig. 4 Cutting force according to cutting edge inclination angle

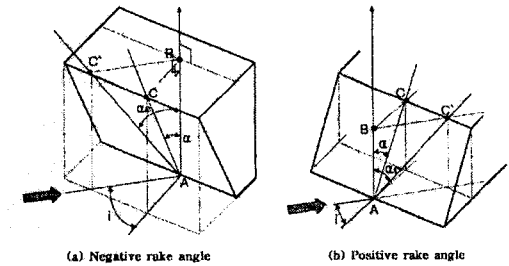
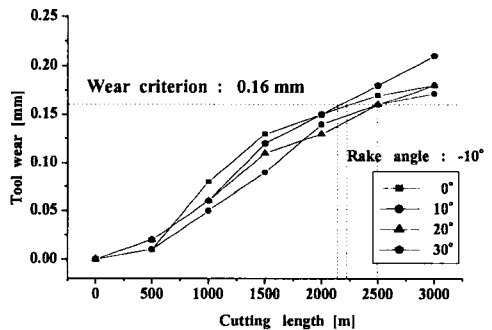
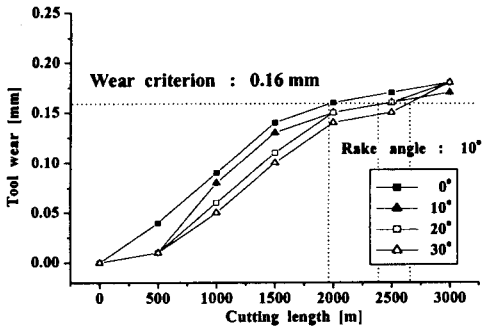


Fig. 5 Representation of effective rake angle



(a) Rake angle : 10°



(b) Rake angle : -10°

Fig. 6 Tool wear according to cut length

Fig. 6(a), (b)에서처럼 공구마멸에 있어서는 뚜렷한 감소의 경향이 보이지 않았다. 그러나 양의 경사각일 때, 기울임각이 증가하면 공구수명 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 공구마멸은 양의 경사각과 음의 경사각에서 각각 경사각 변화와 여유각 변화와 같은 경향을 보였다.

4. 가공성 평가

용접비드가공에 대한 연구를 통해 검증된 결과와 연속형 칩 배출이 가능한 공구형상범위를 고려하여 공구홀더를 제작하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 공구경사각은 기존의 -5° 에서 -3° , 공구인선 기울임각은 0° (2차원가공)에서 5° (3차원가공)로 각각 변경하였다. 기존의 공구홀더, 개선홀더를 생산현장에서 적용시켜 용접비드 절삭부의 외경치수정밀도, 표면조도 및 공구수명에 대해 비교 평가하였다

4.1 외경치수 정밀도의 평가

외경치수 정밀도는 조판기 생산라인에서 용접공정과 절삭공정을 통해 양산되는 파이프를 일정한 가공시간에 대해서 임의 추출하여 버니어캘리퍼스로 각 가공면에 대해서 5회 측정하여 평가하였다. 각각에 대해 공구수명 시점에 있어서 평가한 결과는 Fig. 7과 같다. 기존공정에서의 외경치수 정밀

도는 $\pm 0.18\text{mm}$ 이었고, 개선공정에서는 목표치보다 좋은 $\pm 0.09\text{mm}$ 의 외경치수 정밀도를 얻을 수 있었다.

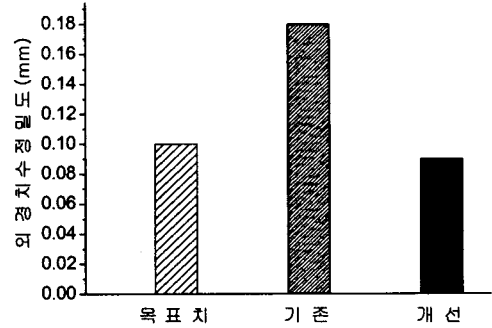


Fig. 7 Dimensional precision according to performance evaluation

4.2 표면조도의 평가

가공시간에 따른 표면조도의 경향을 나타낸 것으로서, 개선홀더를 사용했을 때 기존의 홀더보다 양호한 표면조도 값과 안정된 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

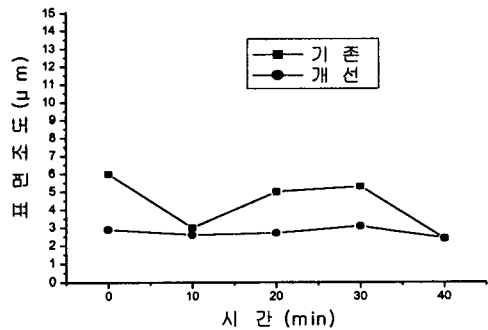


Fig. 8 Surface roughness according to performance evaluation

4.3 각종 공구재종별 공구수명의 평가

기존의 혼합과 소결공정에 변화를 주어 경도가 0.5(HrA)이상 높여 내마멸성과 고온경도가 우수한 초미립자 초경소재를 개발하였다. 다음은 기존

의 코팅공구(TiN/P40)와 세가지의 개발재종 (TiN/P40S, P40S(무코팅), TT312(무코팅))을 현장 생산라인에 적용시켜 공구수명에 대해 평가한 결과이다. 이 때 사용한 공구홀더는 공구형상의 변화를 가진 개선 홀더이다. 공구수명은 공구 교체시기까지의 생산길이로서 판단하였다. Fig. 9에서 나타내는 바와 같이 좋은 기계적 성질을 가지는 초경 모재의 P40S/TiN 재종의 공구를 사용한 개선홀더가 기존에 비해 약 25%정도의 공구수명이 향상 되었다.

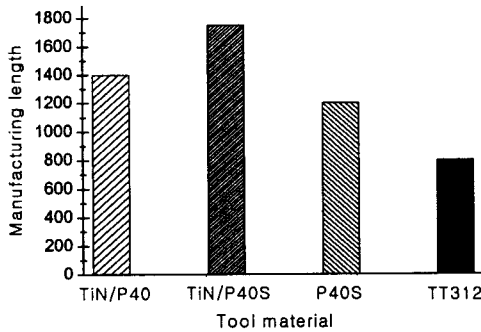


Fig. 9 Comparison of tool life according to tool material

5. 결론

본 연구는 파이프의 강관에 있어서, 고정도·고품위의 강관을 개발하기 위해서 용접 및 절삭공정에서 새로운 방법을 도입하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 절삭공정에 있어서 용접비드 가공과의 유사한 가공 시뮬레이션을 위해서 모의 가공시스템을 구축하여, 열간가공을 통해 고온가공에 대한 기본 데이터베이스를 확보하였다.
2. 공구형상에 있어서 칩 배출 및 절삭저항의 영향을 고려하여, 공구경사각은 기존의 -5° 에서 -3° (여유각은 5° 에서 3°), 공구인선 기울임각 0° 에서 5° 로 최적 형상을 선정하였다.
3. 품질적인 측면에서, 개선공정은 목표치보다 좋은 $\pm 0.09\text{mm}$ 의 외경치수 정밀도를 얻었고, 매우

양호한 표면조도 값과 안정된 가공을 반영함을 알 수 있다.

4. 공구수명 관점에서, 고온경도에서 좋은 기계적 성질을 가지는 초경 모재의 P40S/TiN 재종의 공구를 사용한 개선홀더가 기존공정에서 사용한 공구에 비해 약 25%정도의 공구수명이 향상 되었다.
5. 공구소재에 있어서 기존의 혼합과 소결공정에 변화를 주어 경도를 0.5(HrA)이상 높여 내마멸성과 고온경도가 우수한 초미립자 초경소재를 개발하였다.

참고문헌

- (1) K. H. lew, "A Study on pipe bending by high Frequency local induction heating", A thesis for Master Degree, 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. zler, A. nan and C. zel, 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