

난삭재 INCONEL 718에 대한 최적절삭조건의 실험적 연구

Experimental study of optimal cutting condition in Inconel 718

*신유인¹, 여준철², 추원식², 안찬영³, 안성훈², 송철기¹

*Y. I. SHIN¹, J. C. YEO², W. S. CHU², C. Y. AHN³, S. H. AHN², C. K. SONG¹ (cksong@gnu.kr)

¹ 경상대학교 기계공학과, ² 서울대학교 기계공학과, ³(주)부경

Key words : INCONEL 718, Optimal Cutting Condition, DOE

1. 서론

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (1)$$

최근 항공 및 기계산업의 발달로 높은 인장강도와 큰 피로강도 등의 특성을 가지는 재료의 필요성이 대두되고 있다. 니켈합금(Nickel-based alloys)은 항공산업 내에서 사용되는 합금의 80%에 달하며, 가스 터빈엔진에 사용되는 물질의 45-50%가 니켈합금이다. 니켈합금의 특징은 높은 항복점과 인장강도, 피로강도를 가지며 내부식성과 내산화성이 뛰어나다는 것이다.¹ 니켈합금은 또한 크리프(creep)저항을 개선하기 위해 연삭용 탄화물질들을 포함하고 있으며 절삭 모서리와 DOC (depth of cut)의 위치에서 공구의 마모로 인해 가공 경화하는 경향을 보인다.²

본 연구에서는 난삭재 니켈합금의 일종인 인코넬 718(Inconel 718)의 생산성 향상을 위해 실험계획법(Design of experiments)을 통한 가공실험을 통하여 인코넬 718의 최적 절삭 조건을 찾을 것이다.

2. 배경과 선행 조사

2.1 인코넬

본 실험에 사용된 인코넬 718은 Ni 52.5%, Mo 3%, Cr 19%, Fe 18.5%, Nb+Ta 5.1% (weight percent)로 구성되어 있으며 밀도는 8.25 g/cm³이다. 상온에서의 기계적 성질은 인장강도 550-790MPa (80-115psi), 항복강도 550-790MPa (80-115psi, at 0.2% offset), 브리넬(Brinell) 경도 382이다. 또한 -250℃의 저온에서 700℃의 고온까지 우수한 강도를 나타내는 시효 경화합금으로 시효상태에서의 용접이 가능하며 980℃까지 내산화성이 우수하다.³

2.2 인서트

인코넬 718을 가공하기 위해 본 실험에서 사용된 인서트(Insert)는 KENAMETAL사의 CNMG120412RP이며 KC5510등급의 공구이다. KC5510은 물리기상증착법(physical vapor deposition, PVD)으로 TiAlN을 코팅하였으며 모재(substrate)가 인코넬 718일 경우 91.44 ~ 121.92m/min (300 ~ 400feet/min)의 절삭속도(cutting speed)가 가능하다. KC5510 인서트는 변형 저항을 위해 텅스텐 카바이드(tungsten carbide)에 6%의 코발트(cobalt)를 함유했다.⁴

2.3 DESIGN OF EXPERIMENTS

인코넬 718의 가공성 향상을 위해 다구찌(Taguchi) 실험계획법을 사용하였다. 가공성 평가에 사용된 제어인자(control factor)는 Vc (cutting speed, m/min), DOC (mm), Feed rate (mm/rev)이며 결과는 가공시간(time, sec), 표면조도(surface roughness, μm)이다. 다구찌 방법의 강건 설계는 SN비(signal to noise ratio)를 사용한다. SN비는 목적함수, 즉 특정치에 의해 그 정의가 달라지는 데, 본 연구에서는 망소특성을 갖는다. 망소특성의 경우 $L(y)=kE(y^2)$ 로 표현되는 기대손실을 작게 해주기 위한 $E(y^2)$ 의 추정값인 평균표준편차(mean squared deviation, MSD)를 식(1)과 같이 나타낸다.

MSD는 0으로부터의 평균제곱편차를 의미한다. 따라서 데시벨로 나타내는 SN비로 $10\log(MSD)$ 로 사용할 수 있으나 SN값을 크게 하는 것이 좋은 것으로 하기 위하여 아래와 같이 사용한다.

$$SN = -\log\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right] \quad (2)$$

여기서 n은 측정값의 수를 y_i 는 측정된 특성값을 나타낸다. 망소특성의 경우 기대값 $E(y^2)$ 의 최소화는 SN비의 최대화와 관계가 있다. 따라서 SN비 값이 클수록 결과는 향상된다고 할 수 있다.⁵

3. 실험적 연구

3.1 실험 방법

실험계획법에서 직교배열표를 사용하는 이유는 재현성과 최적조건 선정 시 안정성을 보장하고 실험의 크기를 최소화하며 실험에 많은 영향인자와 수준을 포함시킬 수 있기 때문이다. 따라서 Table 1에서와 같이 직교배열표(L₉3⁴)를 작성하여 실제 가공에 적용되고 있는 조건을 수준 2로 두고 가공 범위를 설정하였다. 인코넬 718에 대한 1회 가공은 외경에서 내경까지 75.5mm를 가공하는 것으로 하였다.

Table 1의 조건으로 9회씩 2회 실험을 한 결과는 Table 2와 같다. 실험계획법에 따라 각 인자들의 수준에 맞추어 실험을 하였다. 두 번째 행의 실험이 실제 가공에 사용되는 조건이며 표면조도의 단위는 μm이다.

Table 1 Factors and levels for machining

	Vc (m/min)	DOC (mm)	Feed rate (mm/rev)
1	70	0.18	0.25
2	80	0.20	0.30
3	90	0.22	0.35

Table 2 Orthogonal array table for machining test

Exp. No.	Vc (m/min)	DOC (mm)	Feed rate (mm/rev)
1	70	0.18	0.25
2	80	0.20	0.30
3	90	0.22	0.35
4	70	0.22	0.30
5	80	0.18	0.35
6	90	0.20	0.25
7	70	0.20	0.35
8	80	0.22	0.25
9	90	0.18	0.30

3.2 실험 결과

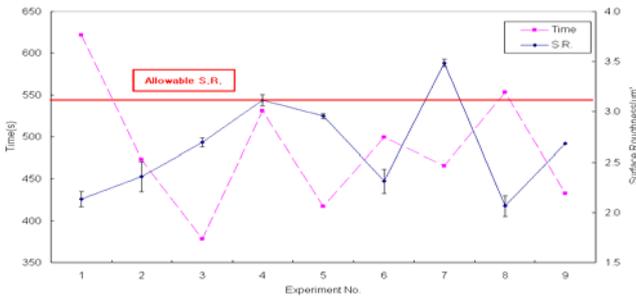


Fig. 1 Experiment results of measured time and average S.R.

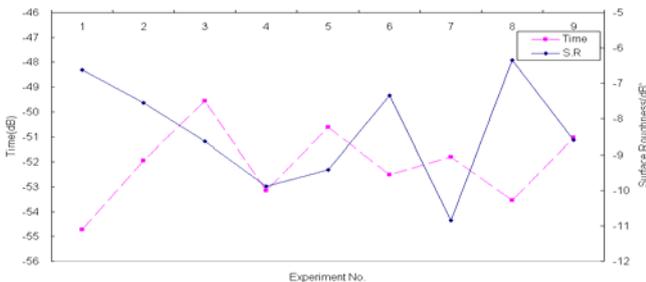


Fig. 2 Graph of SN ratio

2회 실험을 하여 각 실험에 대해 측정된 데이터의 평균을 구하여 데이터의 신뢰성을 확보하였다(Fig. 1). 조도의 허용기준은 3.1µm이다. 그러나 허용기준을 초과하는 실험이 4번과 7번이 발생하였다. 조도는 예측한 대로 외경보다 내경의 조도가 크게 나와 계산에 내경의 조도만 사용하였다. 이는 인서트의 마모가 모재에 영향을 끼친다는 것을 나타낸다. Fig. 2에서는 평균에 대한 SN비를 망소특성에 따라 구하였다

SN비의 각 인자수준별 일원표와 SN비의 분산분석표를 작성하기 위해 각 인자의 수준별 합계(Table 3, Table 4의 2행, 3행, 4행)를 구하고 이 들의 합계와 평균을 구하였다. 다음으로 각 인자의 변동을 구하였다. 인자의 변동은 S로 표기하였다.

편차(deviation)는 각 인자의 최대값과 최소값의 차이이다. 그리고 P.C(Percentage contribution)는 각 인자의 변동과 인자 변동의 합의 비를 %단위로 나타낸 것이다. 이 값은 오차의 수준을 정하는 데 기여한다. 분산분석표에서 보면 오차항이 없기 때문에 편차가 가장 작은 인자를 오차항으로 보고 오차항의 편차와 오차항을 제외한 각 인자의 편차의 비를 계산하고 이를 유의수준(level of significance, LOS)이라 한다.

Table 3 Analysis of variance table about machining time

	Vc (m/min)	DOC (mm)	Feed rate (mm/rev)
1	-159.6680	-156.3865	-160.7863
2	-156.1356	-156.2591	-156.1240
3	-153.1066	-156.2646	-151.9999
Sum.	-468.9102	-468.9102	-468.9102
Avg.	-156.3034	-156.3034	-156.3034
S	7.1895	0.0035	12.8829
Deviation	6.5615	0.1274	8.7864
P.C. (%)	42.3997	0.8230	56.7773
LOS	0.05%	0.00%	0.03%

Table 4 Analysis of variance table about S.R.

	Vc (m/min)	DOC (mm)	Feed rate (mm/rev)
1	-27.3463	-24.6272	-20.2946
2	-23.2966	-25.7226	-26.0197
3	-24.5555	-24.8486	-28.8841
Sum.	-75.1984	-75.1984	-75.1984
Avg.	-25.0661	-25.0661	-25.0661
S	2.8637	0.2237	12.7511
Deviation	4.0497	1.0954	8.5895
P.C.(%)	29.4856	7.9755	62.5389
LOS	7.81%	0.00%	1.75%

Table 5 Optimal cutting condition through the machining test

Condition	SN ratio for Time	SN Ratio for S.R.	Optimal condition
Vc2DOC2Feed2	-51.97	-8.30	(Standard)
Vc3DOC2Feed3	-49.59	-9.68	Time
Vc2DOC1Feed1	-53.57	-6.03	S.R.

따라서 가공 시간에 대한 분산분석표에서의 유의수준은 99%에서 유의하고 조도에 대한 분산분석표에서의 유의수준은 95%에서 유의하다. 신뢰구간의 폭(confidence interval)은 오차항의 T-분포표를 참고하여 구하였다.

4. 결론

본 가공실험의 결과들은 가공시간과 표면조도의 관점에서 볼 수 있다. 상기의 데이터를 토대로 최적의 각 인자의 최적의 절삭 조건이 되는 인자의 수준을 Table 5 과 같이 보여준다.

1. 시간에 대한 최적 가공 조건은 Vc3DOC2Feed3 이다. 즉 Vc=90(m/min), DOC=0.2(mm), Feed rate=0.35(mm/rev)이다.
2. 표면조도에 대한 최적 가공 조건은 Vc2DOC1Feed1 이라는 결과가 도출 되었다. 즉 표면조도의 조건에서는 Vc=80, DOC=0.18, Feed rate=0.25 의 조건이 최적의 가공 조건이다.

후기

본 연구는 2단계 BK, NURI 및 지역산업기술개발사업(10027470)의 지원으로 연구되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. M. Rahman, W.K.H. Seah, T.T. Teo, 'The machinability of Inconel 718', Journal of Materials Processing Technology, 63 199-204, 1997
2. H.R. Krain, A.R.C. Sharman, K. Ridgway, 'Optimization of tool life and productivity when end milling Inconel 718TM', Journal of Materials Processing Technology, 189 153-161, 2007
3. <http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=NINC34>
4. <http://news.thomasnet.com/fullstory/450457>
5. H.J. Kang, H.J Kim, W.S. Chu, S.H. Ahn, 2006, 'Fabrication and Characterization of Micro parts by Mechanical Micro Machining: Precision and Cost Estimation', Korea society for precision Engineering, Vol. 23, No.4, pp 91-98, 2006