



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년06월29일
(11) 등록번호 10-1634496
(24) 등록일자 2016년06월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23Q 15/22 (2006.01) B23Q 5/22 (2006.01)
G05B 19/414 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23Q 15/22 (2013.01)
B23Q 5/22 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0071899
(22) 출원일자 2015년05월22일
심사청구일자 2015년05월22일
(56) 선행기술조사문헌
KR101459245 B1
CN104267693 A
KR1020150073975 A

(73) 특허권자
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
박홍석
울산 중구 운곡3길 24, 101동 1305호 (다운동, 삼성아파트)
웬충탄
울산광역시 남구 대학로 93 울산대학교
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 14 항

심사관 : 허준

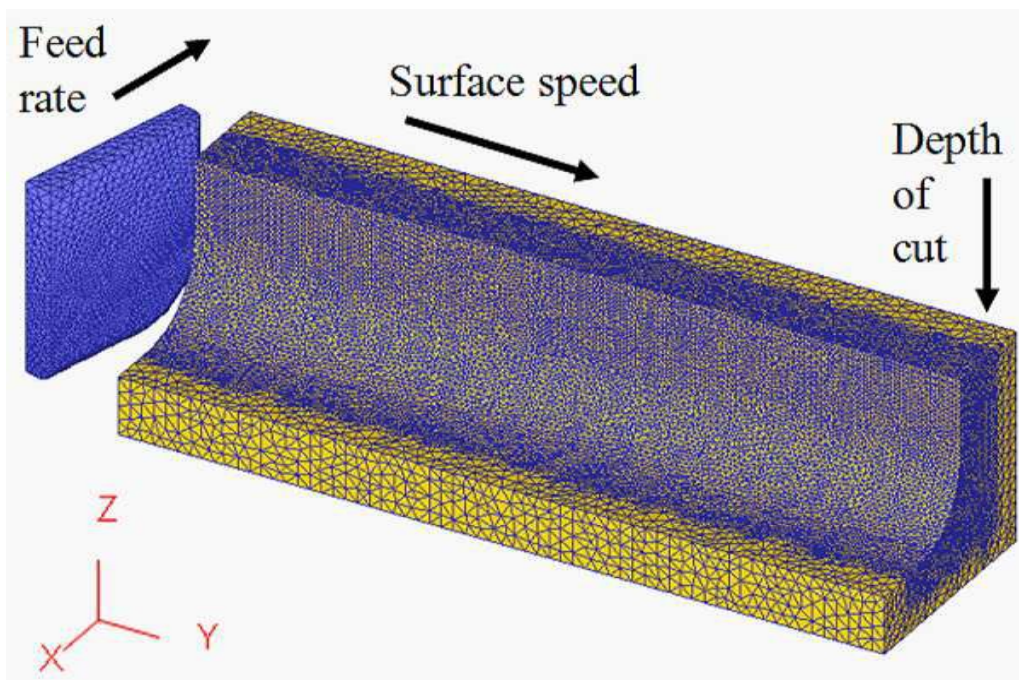
(54) 발명의 명칭 에너지 효율을 최적화하기 위한 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법 및 그 장치

(57) 요약

본 발명은 에너지 효율을 최적화하기 위한 하드터닝 공정의 설계 방법 및 그 장치에 관한 것으로, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법에 따르면, 상기 하드터닝 공정에 대한 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 입력받는 단계, 상기 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



값을 연산하고, 상기 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값 중에서 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들을 추출하는 단계, 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들을 이용하여 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 가중치를 연산하는 단계, 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들 및 상기 가중치를 이용하여 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들에 대한 각각의 최적화 수치를 연산하는 단계, 그리고 가장 높은 최적화 수치를 획득한 파레토 최적해에 대응하는 상기 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 상기 하드터닝 공정에 적용시키는 단계를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 최적의 에너지 효율 환경에 따라 설계된 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 미리 획득하여 이를 이용할 수 있으므로, 하드터닝 공정에 소모되는 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 하드터닝 공정의 생산성도 향상시킬 수 있다.

(52) CPC특허분류

G05B 19/414 (2013.01)

B23Q 2705/16 (2013.01)

G05B 2219/32021 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

공구를 이용하여 공작물을 가공하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법에 있어서,

상기 하드터닝 공정에 대한 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 입력받는 단계,

상기 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값을 연산하고, 상기 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값 중에서 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들을 추출하는 단계,

상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들을 이용하여 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 가중치를 연산하는 단계,

상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들 및 상기 가중치를 이용하여 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들에 대한 각각의 최적화 수치를 연산하는 단계, 그리고

가장 높은 최적화 수치를 획득한 파레토 최적해에 대응하는 상기 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 상기 하드터닝 공정에 적용시키는 단계를 포함하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 작업 공정 정보는,

상기 공구의 절삭 속도 및 이송 속도 중에서 적어도 하나를 포함하고,

상기 공구 형상 정보는,

상기 공구의 노즈 반경, 상기 공구의 절삭날 반경, 상기 공구의 경사각 및 상기 공구의 여유각 중에서 적어도 하나를 포함하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 비절삭 에너지는 다음의 수학식을 통해 연산되는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법:

$$\begin{aligned} U_s = & 11.9693 - 0.0033V - 86.0115f + 10.4384R + 0.01124r \\ & - 0.1184\alpha - 0.0429\gamma + 0.0151Vf - 0.00025VR + 0.0000003Vr \\ & + 0.0000073V\alpha + 0.000056V\gamma - 27.7994fR - 0.04818fr \\ & + 0.4733f\alpha - 0.03255f\gamma - 0.00135Rr + 0.04323R\alpha - 0.0521R\gamma \\ & + 0.000002r\alpha - 0.00123r\gamma - 0.00362\alpha\gamma - 0.0000036V^2 \\ & + 267.6211f^2 - 6.0942R^2 + 0.000071r^2 + 0.0026\alpha^2 + 0.0092\gamma^2 \end{aligned}$$

여기서 U_s 는 상기 비절삭 에너지, V 는 상기 절삭 속도, f 는 상기 이송 속도, R 은 상기 공구의 노즈 반경, r 은 상기 공구의 절삭날 반경, γ 는 상기 공구의 경사각, α 는 상기 공구의 여유각을 의미한다.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 에너지 효율은 다음의 수학적식을 통해 연산되는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법:

$$\begin{aligned} E_c = & 83.18 + 0.0311V + 85.0428f - 80.7R - 0.0301r + 0.2137\alpha \\ & + 1.2979\gamma + 0.0694Vf - 0.0047VR + 0.000008Vr - 0.00005V\alpha \\ & - 0.0022V\gamma + 41.67fR + 0.04167fr - 1.1629f\alpha - 1.3652f\gamma \\ & + 0.0469Rr + 0.1249R\alpha + 1.8849R\gamma + 0.0001r\alpha + 0.00063r\gamma \\ & - 0.0556\alpha\gamma - 0.000009V^2 - 998.6358f^2 + 61.5R^2 - 0.00057r^2 \\ & - 0.03438\alpha^2 - 0.23754\gamma^2 \end{aligned}$$

여기서, E_c 는 상기 에너지 효율을 나타낸다.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 파레토 최적해들을 추출하는 단계는,

상기 에너지 효율(E_c) 및 상기 비절삭 에너지(U_s)를 각각 x축과 y축으로 설정한 좌표 평면에 상기 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 상기 비절삭 에너지 값들과 상기 에너지 효율 값들을 표시하는 단계,

상기 결과 값들 중에서 경계선 부분에 표시된 하나 이상의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 상기 파레토 최적해들로 추출하는 단계를 포함하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 가중치를 연산하는 단계는,

아래의 수학적식을 통해 상기 가중치(w_j)를 연산하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법:

$$w_j = \frac{1 - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \ln\left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)}{\sum_{j=1}^2 1 - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \ln\left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)}, \quad i \in [1, \dots, m], j \in [1, 2]$$

여기서, w_1 은 상기 비절삭 에너지(U_s)에 대한 가중치를 의미하고, w_2 는 상기 에너지 효율(E_c)에 대한 가중치를 의미하며, m 은 상기 파레토 최적해들의 개수, x_{ij} 는 i 번째 파레토 최적해의 j 번째 값으로서 이때 j 가 1인 경우 비절삭 에너지를 의미하고 j 가 2인 경우 에너지 효율을 의미한다.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 최적화 수치를 연산하는 단계는,

아래의 수학적식을 통해 상기 최적화 수치(D_j)를 연산하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법:

$$D_i = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j (p_j^- - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}})^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j (p_j^+ - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}})^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j (p_j^- - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}})^2}}, \quad i \in [1, \dots, m], j \in [1, 2]$$

여기서, p_j^+ 는 정규화 행렬($P = (\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}})_{m \times n}$)에서 정규화 행렬 값($p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$)보다 큰 값을 갖는 정규화 행렬의 요

소들을 나타내고, p_j^- 는 정규화 행렬($P = (\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}})_{m \times n}$)에서 정규화 행렬 값($p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$)보다 작은 값을 갖는 정규화 행렬의 요소들을 나타낸다.

청구항 8

공구를 이용하여 공작물을 가공하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법에 있어서,

상기 하드터닝 공정에 대한 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 입력받는 입력부,

상기 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값을 연산하는 제1 연산부,

상기 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값 중에서 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들을 추출하는 추출부,

상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들을 이용하여 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 가중치를 연산하고, 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들 및 상기 가중치를 이용하여 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들에 대한 각각의 최적화 수치를 연산하는 제2 연산부, 그리고

가장 높은 최적화 수치를 획득한 파레토 최적해에 대응하는 상기 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 상기 하드터닝 공정에 적용시키는 제어부를 포함하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 작업 공정 정보는,

상기 공구의 절삭 속도 및 이송 속도 중에서 적어도 하나를 포함하고,

상기 공구 형상 정보는,

상기 공구의 노즈 반경, 상기 공구의 절삭날 반경, 상기 공구의 경사각 및 상기 공구의 여유각 중에서 적어도 하나를 포함하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 비절삭 에너지는 다음의 수학적식을 통해 연산되는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치:

$$\begin{aligned} U_s = & 11.9693 - 0.0033V - 86.0115f + 10.4384R + 0.01124r \\ & - 0.1184\alpha - 0.0429\gamma + 0.0151Vf - 0.00025VR + 0.0000003Vr \\ & + 0.0000073V\alpha + 0.000056V\gamma - 27.7994fR - 0.04818fr \\ & + 0.4733f\alpha - 0.03255f\gamma - 0.00135Rr + 0.04323R\alpha - 0.0521R\gamma \\ & + 0.000002r\alpha - 0.00123r\gamma - 0.00362\alpha\gamma - 0.0000036V^2 \\ & + 267.6211f^2 - 6.0942R^2 + 0.000071r^2 + 0.0026\alpha^2 + 0.0092\gamma^2 \end{aligned}$$

여기서, U_s 는 상기 비절삭 에너지, V 는 상기 절삭 속도, f 는 상기 이송 속도, R 은 상기 공구의 노즈 반경, r 은 상기 공구의 절삭날 반경, γ 는 상기 공구의 경사각, α 는 상기 공구의 여유각을 의미한다.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 에너지 효율은 다음의 수학적식을 통해 연산되는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치:

$$\begin{aligned} E_c = & 83.18 + 0.0311V + 85.0428f - 80.7R - 0.0301r + 0.2137\alpha \\ & + 1.2979\gamma + 0.0694Vf - 0.0047VR + 0.000008Vr - 0.00005V\alpha \\ & - 0.0022V\gamma + 41.67fR + 0.04167fr - 1.1629f\alpha - 1.3652f\gamma \\ & + 0.0469Rr + 0.1249R\alpha + 1.8849R\gamma + 0.0001r\alpha + 0.00063r\gamma \\ & - 0.0556\alpha\gamma - 0.000009V^2 - 998.6358f^2 + 61.5R^2 - 0.00057r^2 \\ & - 0.03438\alpha^2 - 0.23754\gamma^2 \end{aligned}$$

여기서, E_c 는 상기 에너지 효율을 나타낸다.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 추출부는,

상기 에너지 효율(E_c) 및 상기 비절삭 에너지(U_s)를 각각 x축과 y축으로 설정한 좌표 평면에 상기 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 상기 비절삭 에너지 값들과 상기 에너지 효율 값들을 표시하고,

상기 결과 값들 중에서 경계선 부분에 표시된 하나 이상의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 상기 파레토 최적해들로 추출하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 제2 연산부는,

아래의 수학적식을 통해 상기 가중치(w_j)를 연산하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치:

$$w_j = \frac{1 - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \ln\left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)}{\sum_{j=1}^2 1 - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \ln\left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)}, \quad i \in [1, \dots, m], j \in [1, 2]$$

여기서, w_1 은 상기 비절삭 에너지(U_s)에 대한 가중치를 의미하고, w_2 는 상기 에너지 효율(E_c)에 대한 가중치를 의미하며, m 은 상기 파레토 최적해들의 개수, x_{ij} 는 i 번째 파레토 최적해의 j 번째 값으로서 이때 j 가 1인 경우 비절삭 에너지를 의미하고 j 가 2인 경우 에너지 효율을 의미한다.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 제2 연산부는,

아래의 수학적식을 통해 상기 최적화 수치(D_j)를 연산하는 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치:

$$D_i = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j \left(p_j^- - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j \left(p_j^+ - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j \left(p_j^- - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)^2}}, \quad i \in [1, \dots, m], j \in [1, 2]$$

여기서, p_j^+ 는 정규화 행렬($P = \left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)_{m \times n}$)에서 정규화 행렬 값($p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$)보다 큰 값을 갖는 정규화 행렬의 요

소들을 나타내고, p_j^- 는 정규화 행렬($P = \left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)_{m \times n}$)에서 정규화 행렬 값($p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$)보다 작은 값을 갖는 정규화 행렬의 요소들을 나타낸다.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 에너지 효율을 최적화하기 위한 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법 및 그 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 하드터닝 공정에 대한 비절삭 에너지 및 에너지 효율 값을 이용하여 에너지 효율을 최적화하기 위한 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

하드터닝이란 HRC45 이상의 고경도 소재를 CBN 등과 같은 고경도 공구를 사용하여 가공하는 공정을 말한다. 자동차 및 기계 산업에서는 우수한 표면 조도와 치수 정밀도를 요구하기 때문에 종래에는 표면 마무리 공정에서 연삭공정이 사용되었으며, 특히 경도가 높은 소재의 경우 선삭가공 후 경화열처리를 통해 경도를 높이고 연삭공정으로 마무리 하였으나, 가공순서가 복잡하여 공정 시간이 오래 걸릴 뿐만 아니라, 과도한 절삭유 사용으로 인해 환경 문제가 야기되는 문제점이 발생했다.

- [0003] 이에 반해, 하드터닝은 추가공시간을 줄이고 재료제거율을 향상시켜 생산비용을 절감시킬 뿐만 아니라 부품의 피로수명을 향상시키는 장점이 있어, 최근 베어링, 기어 커넥팅 로드 등과 같은 고정도강으로 제작되는 정밀부품을 가공하는 산업 현장에서 널리 사용되고 있다.
- [0004] 하지만 하드터닝이 다양한 산업 현장에서 사용되는 것과 더불어, 하드터닝의 에너지 효율 증대의 문제도 에너지 절약 및 생산성의 증대 부분에서 계속 요구되고 있는 실정이다.
- [0005] 본 발명의 배경이 되는 기술은 등록특허 제10-1338656호(2013.12.09 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 하드터닝 공정에 대한 비절삭 에너지 및 에너지 효율 값을 이용하여 에너지 효율을 최적화하기 위한 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법 및 그 장치를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법은, 상기 하드터닝 공정에 대한 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 입력받는 단계, 상기 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값을 연산하고, 상기 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값 중에서 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들을 추출하는 단계, 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들을 이용하여 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 가중치를 연산하는 단계, 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들 및 상기 가중치를 이용하여 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들에 대한 각각의 최적화 수치를 연산하는 단계, 그리고 가장 높은 최적화 수치를 획득한 파레토 최적해에 대응하는 상기 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 상기 하드터닝 공정에 적용시키는 단계를 포함한다.
- [0008] 상기 작업 공정 정보는, 상기 공구의 절삭 속도 및 이송 속도 중에서 적어도 하나를 포함하고, 상기 공구 형상 정보는, 상기 공구의 노즈 반경, 상기 공구의 절삭날 반경, 상기 공구의 경사각 및 상기 공구의 여유각 중에서 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0009] 상기 비절삭 에너지는 다음의 수학적식을 통해 연산될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 U_s = & 11.9693 - 0.0033V - 86.0115f + 10.4384R + 0.01124r \\
 & - 0.1184\alpha - 0.0429\gamma + 0.0151Vf - 0.00025VR + 0.0000003Vr \\
 & + 0.0000073V\alpha + 0.000056V\gamma - 27.7994fR - 0.04818fr \\
 & + 0.4733f\alpha - 0.03255f\gamma - 0.00135Rr + 0.04323R\alpha - 0.0521R\gamma \\
 & + 0.000002r\alpha - 0.00123r\gamma - 0.00362\alpha\gamma - 0.0000036V^2 \\
 & + 267.6211f^2 - 6.0942R^2 + 0.000071r^2 + 0.0026\alpha^2 + 0.0092\gamma^2
 \end{aligned}$$

- [0010]
- [0011] 여기서 U_s 는 상기 비절삭 에너지, V 는 상기 절삭 속도, f 는 상기 이송 속도, R 은 상기 공구의 노즈 반경, r 은 상기 공구의 절삭날 반경, γ 상기 공구의 경사각, α 는 상기 공구의 여유각을 의미한다.

[0012] 상기 에너지 효율은 다음의 수학식을 통해 연산될 수 있다.

$$\begin{aligned} E_c = & 83.18 + 0.0311V + 85.0428f - 80.7R - 0.0301r + 0.2137\alpha \\ & + 1.2979\gamma + 0.0694Vf - 0.0047VR + 0.000008Vr - 0.00005V\alpha \\ & - 0.0022V\gamma + 41.67fR + 0.04167fr - 1.1629f\alpha - 1.3652f\gamma \\ & + 0.0469Rr + 0.1249R\alpha + 1.8849R\gamma + 0.0001r\alpha + 0.00063r\gamma \\ & - 0.0556\alpha\gamma - 0.000009V^2 - 998.6358f^2 + 61.5R^2 - 0.00057r^2 \\ & - 0.03438\alpha^2 - 0.23754\gamma^2 \end{aligned}$$

[0013]

[0014] 여기서, E_c 는 상기 에너지 효율을 나타낸다.

[0015]

상기 파레토 최적해들을 추출하는 단계는, 상기 에너지 효율(E_c) 및 상기 비절삭 에너지(U_s)를 각각 x축과 y축으로 설정한 좌표 평면에 상기 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 상기 비절삭 에너지 값들과 상기 에너지 효율 값들을 표시하는 단계, 상기 결과 값들 중에서 경계선 부분에 표시된 하나 이상의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 상기 파레토 최적해들로 추출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016]

상기 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 가중치를 연산하는 단계는, 아래의 수학식을 통해 상기 가중치(w_j)를 연산할 수 있다.

$$w_j = \frac{1 - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \ln\left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)}{\sum_{j=1}^2 1 - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \ln\left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)}, \quad i \in [1, \dots, m], j \in [1, 2]$$

[0017]

[0018]

여기서, w_1 은 상기 비절삭 에너지(U_s)에 대한 가중치를 의미하고, w_2 는 상기 에너지 효율(E_c)에 대한 가중치를 의미하며, m 은 상기 파레토 최적해들의 개수, x_{ij} 는 i 번째 파레토 최적해의 j 번째 값으로서 이때 j 가 1인 경우 비절삭 에너지를 의미하고 j 가 2인 경우 에너지 효율을 의미한다.

[0019]

상기 최적화 수치를 연산하는 단계는, 아래의 수학식을 통해 상기 최적화 수치(D_j)를 연산할 수 있다.

$$D_i = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j \left(p_j^- - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j \left(p_j^+ - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j \left(p_j^- - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)^2}}, \quad i \in [1, \dots, m], j \in [1, 2]$$

[0020]

[0021]

여기서, p_j^+ 는 정규화 행렬($P = (\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}})_{m \times n}$)에서 정규화 행렬 값($p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$)보다 큰 값을 갖는 정규화 행렬의 요

소들을 나타내고, p_j^- 는 정규화 행렬($P = (\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}})_{m \times n}$)에서 정규화 행렬 값($p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$)보다 작은 값을 갖는 정규화 행렬의 요소들을 나타낸다.

[0022]

본 발명의 다른 실시예에 따른 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치는, 상기 하드터닝 공정에 대한 복수의 작업

공정 정보 및 공구 형상 정보를 입력받는 입력부, 상기 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값을 연산하는 제1 연산부, 상기 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값 중에서 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들을 추출하는 추출부, 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들을 이용하여 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 가중치를 연산하고, 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들 및 상기 가중치를 이용하여 상기 복수의 파레토 최적해(Pareto optimal solution)들에 대한 각각의 최적화 수치를 연산하는 제2 연산부, 그리고 가장 높은 최적화 수치를 획득한 파레토 최적해에 대응하는 상기 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 상기 하드터닝 공정에 적용시키는 제어부를 포함한다.

발명의 효과

[0023] 이와 같이 본 발명에 따르면, 최적의 에너지 효율 환경에 따라 설계된 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 미리 획득하여 이를 이용할 수 있으므로, 하드터닝 공정에 소모되는 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 하드터닝 공정의 생산성도 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치의 구성도이다.
 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법을 나타낸 순서도이다.
 도 3은 작업 공정 정보를 설명하기 위한 도면이다.
 도 4a 및 도 4b는 공구 형상 정보를 설명하기 위한 도면이다.
 도 5는 도 2의 S230 단계를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0026] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.

[0027] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0028] 도 1을 통해 본 발명의 실시예에 따른 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)에 대하여 살펴본다. 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치의 구성도이다.

[0029] 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)의 구성을 구체적으로 살펴보면, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)는 입력부(110), 제1 연산부(120), 추출부(130), 제2 연산부(140) 및 제어부(150)를 포함한다.

[0030] 먼저, 입력부(110)는 하드터닝 공정에 대한 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 입력 받는다. 이때 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보는 복수의 정보가 입력된다.

[0031] 각 정보에 대하여 구체적으로 살펴보면, 작업 공정 정보는 하드터닝 공정의 절삭 속도(V) 및 이송 속도(f) 중에서 적어도 하나를 포함하며, 공구 형상 정보는 하드터닝 공정에서 사용되는 공구의 노즈 반경(R), 절삭날 반경(r), 경사각(γ) 및 여유각(α) 중에서 적어도 하나를 포함한다.

[0032] 다음으로, 제1 연산부(120)는 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 각각의 비절삭 에너지 및 에너지 효율 값을 연산하고, 추출부(130)는 제1 연산부(120)에 의해 연산된 비절삭 에너지 및 에너지 효율 값 중에서 파레토 최적해(Pareto optimal solution)를 추출한다. 이때 파레토 최적해는 복수가 추출된다.

[0033] 다음으로, 제2 연산부(140)는 가중치와 최적화 수치를 연산한다. 이때, 가중치는 비절삭 에너지에 대한 가중치와 에너지 효율에 대한 가중치 중 적어도 하나를 포함하며, 제2 연산부(140)는 추출된 파레토 최적해들을 이용

하여 비절삭 에너지에 대한 가중치와 에너지 효율에 대한 가중치를 연산한다.

[0034] 또한, 최적화 수치는 각각의 파레토 최적해에 대하여 연산되며, 제2 연산부(140)는 비절삭 에너지에 대한 가중치, 에너지 효율에 대한 가중치 및 파레토 최적해들을 이용하여 각각의 파레토 최적해들에 대한 최적화 수치를 연산한다.

[0035] 그리고, 제어부(150)는 가장 높은 최적화 수치를 획득한 파레토 최적해에 대응하는 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 하드터닝 공정에 적용시킨다.

[0036] 이하에서는 도 2 내지 도 5을 통해 본 발명의 실시예에 따른 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법에 대하여 살펴본다. 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 하드터닝 공정 및 공구의 설계 방법을 나타낸 순서도이다.

[0037] 먼저, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)는 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 입력받는다(S210).

[0038] 이하에서는, 도 3 및 도 4를 통해 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대하여 구체적으로 살펴본다. 도 3은 작업 공정 정보를 설명하기 위한 도면이고, 도 4a 및 도 4b는 공구 형상 정보를 설명하기 위한 도면이다.

[0039] 표 1은 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 나타낸 표이다.

표 1

Name	Parameters
V	Cutting speed (m/min)
f	Feed rate (mm/rev)
R	Nose radius (mm)
r	Cutter edge radius (μm)
γ	Rake angle (deg)
α	Relief angle (deg)

[0041] 먼저, 도 3을 통해 작업 공정 정보에 대해 구체적으로 살펴보면, 절삭 속도(V, cutting speed)는 공구와 공작물과의 상대 운동의 속도를 의미하며, 단위 시간 동안 공구의 절삭날이 공작물을 지나간 거리(m/min)로 표현된다. 즉, 도 3의 경우 공구의 절삭날이 이동하는 방향은 y축 방향이며, 표면 속도(surface speed)는 절삭 속도가 된다. 그리고, 이송 속도(f, feed rate)는 공작물의 1회전마다 절삭 방향으로 공구를 이송하는 속도를 의미하며, 도 3의 경우 절삭 방향은 x축 방향이며, 이송 속도는 공작물의 1회전마다 공구가 x축 방향으로 얼마나 이송되는지에 따라 결정된다.

[0042] 다음으로, 도 4a 및 도 4b를 통해 공구 형상 정보에 대해 구체적으로 살펴보면, 공구의 노즈 반경(R, nose radius)은 도 4a에 도시된 A부분(Nose Radius)으로서 공구 끝의 둥근 부분의 반지름을 의미하며, 이는 절삭날이 교차하는 날 끝을 둥글게 하여 공구의 강도를 높여주기 위함이다. 그리고, 공구의 절삭날 반경(r, cutter edge radius)은 공구의 절삭날의 반지름을 의미하며, 도 4a에 도시된 B부분(Facing Cutting edge, Turning Cutting edge)의 반지름이 절삭날 반경에 해당한다.

[0043] 그리고, 공구의 경사각(γ , rake angle)은 공구의 절인 경사면(rake face)과 공작물의 가공 표면에 수직한 선이 이루는 각도를 의미하며, 도 4b에서 칩(Bone chip)과 공구(tool)의 절인 경사면(Rake Face)이 이루는 각이 경사각에 해당한다. 그리고 공구의 여유각(α , relief angle)은 공구와 공작물의 마찰을 줄이기 위한 것으로서 공작물의 표면과 공구의 옆면이 이루는 각을 의미하며, 도 4b에서 공작물(workpiece)과 공구(tool)의 하단면이 이루는 각이 여유각에 해당한다.

[0044] 그러면, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)는 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 비절삭 에너지 및 에너지 효율을 연산한다(S220).

[0045] 여기서, 비절삭 에너지(specific cutting energy)는 단위 채적의 공작물을 절삭하는데 소요되는 에너지(mm^3/J)를 의미하고, 에너지 효율(energy efficiency)은 절삭 에너지 중 전단 에너지가 차지하는 비율(%)을 의미한다.

[0046] 상기 에너지들의 관계를 구체적으로 살펴보면, 절삭 에너지(U_c , cutting energy)는 전단 에너지(U_{shear} , shearing energy)와 마찰 에너지(U_{friction} , friction energy)의 합($U_c = U_{\text{shear}} + U_{\text{friction}}$)으로 나타나며, 여기서 전단 에너지란

공작물을 전단하는데 소요되는 에너지를 의미하고, 마찰 에너지란 절삭 공정에서 공구와 공작물의 마찰로 인해 소요되는 에너지를 의미한다.

[0047] 구체적으로, 비절삭 에너지는 아래의 수학적식 1을 통해 연산된다.

수학적식 1

$$U_s = 11.9693 - 0.0033V - 86.0115f + 10.4384R + 0.01124r \\ - 0.1184\alpha - 0.0429\gamma + 0.0151Vf - 0.00025VR + 0.0000003Vr \\ + 0.0000073V\alpha + 0.000056V\gamma - 27.7994fR - 0.04818fr \\ + 0.4733f\alpha - 0.03255f\gamma - 0.00135Rr + 0.04323R\alpha - 0.0521R\gamma \\ + 0.000002r\alpha - 0.00123r\gamma - 0.00362\alpha\gamma - 0.0000036V^2 \\ + 267.6211f^2 - 6.0942R^2 + 0.000071r^2 + 0.0026\alpha^2 + 0.0092\gamma^2$$

[0048]

[0049] 여기서, U_s 는 비절삭 에너지를 나타낸다.

[0050] 그리고, 에너지 효율은 아래의 수학적식 2를 통해 연산된다.

수학적식 2

$$E_c = 83.18 + 0.0311V + 85.0428f - 80.7R - 0.0301r + 0.2137\alpha \\ + 1.2979\gamma + 0.0694Vf - 0.0047VR + 0.000008Vr - 0.00005V\alpha \\ - 0.0022V\gamma + 41.67fR + 0.04167fr - 1.1629f\alpha - 1.3652f\gamma \\ + 0.0469Rr + 0.1249R\alpha + 1.8849R\gamma + 0.0001r\alpha + 0.00063r\gamma \\ - 0.0556\alpha\gamma - 0.000009V^2 - 998.6358f^2 + 61.5R^2 - 0.00057r^2 \\ - 0.03438\alpha^2 - 0.23754\gamma^2$$

[0051]

[0052] 여기서, E_c 는 에너지 효율을 나타낸다.

[0053] S220 단계에서 비절삭 에너지 및 에너지 효율이 연산된 다음, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)는 연산된 비절삭 에너지 및 에너지 효율 값 중에서 복수의 파레토 최적해를 추출한다(S230).

[0054] 여기서, 파레토 최적해(pareto optimal solution)란 자원의 가장 적합한 배분 상태에 있는 경우에서 그 해를 의미하며, 본 발명에서 파레토 최적해는 비절삭 에너지와 에너지 효율이 가장 적합하게 배분된 상태에 해당하는 비절삭 에너지 및 에너지 효율 값을 의미한다.

[0055] 그러면, 도 3을 통해 본 발명의 실시예에 따른 파레토 최적해를 추출하는 과정에 대해 살펴본다. 도 3은 도 2의 S230 단계를 설명하기 위한 도면으로, 다수의 케이스에 해당하는 비절삭 에너지 및 에너지 효율을 각각 좌표 평면 상에 표시한 그래프이다.

[0056] 먼저, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)는 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값들을 에너지 효율을 x축으로 하고 비절삭 에너지를 y축으로 설정한 좌표 평면 상에 표시한다. 도 3에서 보는 바와 같이 좌표 평면 상에 표시된 각 점들은 복수의 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 값을 나타낸다. 예를 들어, 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보에 대한 에너지 효율이 67(%)이고, 비절삭 에너지가 $5.6(\text{J}/\text{mm}^3)$ 인 경우, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)는 좌표 평면 상의 (67, 5.6) 위치에 점을 표시한다.

[0057] 다음으로, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)는 좌표 평면 상에 표시된 점들로부터 비절삭 에너지 및 에너

지 효율에 대한 파레토 최적해들을 추출한다. 이때, 파레토 최적해는 도 3에서 보는 바와 같이 좌표 평면상에 표시된 점들 중 외곽의 경계선 부분에 표시된 점들에 해당하는 비절삭 에너지 및 에너지 효율 값을 말한다.

[0058] S230 단계에서 파레토 최적해들을 추출한 다음, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)는 복수의 파레토 최적해들을 이용하여 비절삭 에너지 및 에너지 효율에 대한 가중치를 연산한다(S240).

[0059] 이때, 가중치는 비절삭 에너지 및 에너지 효율 값에 기반하여 엔트로피 법칙을 통해 연산되며, 구체적으로 아래의 수학식 3을 통해 연산된다.

수학식 3

$$w_j = \frac{1 - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \ln\left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)}{\sum_{j=1}^2 1 - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \ln\left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)}, \quad i \in [1, \dots, m], j \in [1, 2]$$

[0060]

[0061] 여기서, w_1 은 상기 비절삭 에너지(U_s)에 대한 가중치를 의미하고, w_2 는 상기 에너지 효율(E_c)에 대한 가중치를 의미하며, m 은 상기 파레토 최적해들의 개수, x_{ij} 는 i 번째 파레토 최적해의 j 번째 값으로서 이때 j 가 1인 경우 비절삭 에너지를 의미하고 j 가 2인 경우 에너지 효율을 의미한다.

[0062] 본 발명의 실시예에 따르면, 비절삭 에너지에 대한 가중치는 0.74, 에너지 효율에 대한 가중치는 0.26을 가질 수 있다.

[0063] 그러면, 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치(100)는 복수의 파레토 최적해 및 가중치를 이용하여 파레토 최적해들에 대한 각각의 최적화 수치를 연산한다(S250).

수학식 4

$$D_i = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j \left(p_j^+ - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j \left(p_j^+ - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^2 w_j \left(p_j^- - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)^2}}, \quad i \in [1, \dots, m], j \in [1, 2]$$

[0064]

[0065] 여기서, p_j^+ 는 정규화 행렬($P = \left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)_{m \times n}$)에서 정규화 행렬 값($p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$)보다 큰 값을 갖는 정규화 행렬의 요

소들을 나타내고, p_j^- 는 정규화 행렬($P = \left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}\right)_{m \times n}$)에서 정규화 행렬 값($p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$)보다 작은 값을 갖는 정규화 행렬의 요소들을 나타낸다.

[0066] 정규화 행렬에 대하여 구체적으로 살펴보면, 정규화 행렬은 m 개의 열과 n 개의 행을 가진다. 예를 들어, 파레토 최적해의 개수가 402개인 경우, n 은 비절삭 에너지 및 에너지 효율을 의미하므로, 정규화된 결정 매트릭스는 402개의 열과 2개의 행을 가지게 된다.

[0067] 표 2는 본 발명의 실시예에 따른 파레토 최적해들 중 가장 높은 최적화 수치를 획득한 5개의 파레토 최적해에 대한 정보를 정리한 것이다.

표 2

[0068]

No	Us (J/mm ³)	Ec (%)	Score	Ranking
338	5.684	74.8	0.9331	1
281	5.614	73.1	0.9326	2
366	5.574	72.3	0.9278	3
285	5.404	71.3	0.9244	4
391	5.713	75	0.9236	5

[0069] 표 2에서 나타난 것처럼, 본 발명의 실시예에 따르면, 가장 높은 최적화 수치를 획득한 것은 338번째 파레토 최적해로서, 비절삭 에너지는 5.684(J/mm³)이고 에너지 효율은 74.8(%)이다.

[0070] 다음으로, 설계 장치는 가장 높은 최적화 수치에 대응하는 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 하드터닝 공정에 적용한다(S260).

[0071] 표 3은 표 2에서 나타난 가장 높은 최적화 수치 획득한 파레토 최적해에 대응하는 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 정리한 것이다.

표 3

[0072]

Parameters	Optimized value
Cutting speed V (m/min)	293
Feed rate f (mm/rev)	0.135
Nose radius R (mm)	0.2
Cutter edge radius r (μm)	30
Rake angle γ (deg)	0
Relief angle α (deg)	2
Responses (objective functions)	
Us (J/mm ³)	5.684
Ec (%)	74.8

[0073] 표 3에서 보는 것처럼, 가장 높은 최적화 수치에 대응하는 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보는 절삭 속도가 293(m/min), 이송 속도가 0.135(mm/rev), 노즈 반경이 0.2(mm), 절삭날 반경이 30(μm), 경사각이 0(°), 여유각이 2(°)를 가진다.

[0074] 이와 같이 본 발명의 실시예에 따르면, 최적의 에너지 효율 환경에 따라 설계된 작업 공정 정보 및 공구 형상 정보를 미리 획득하여 이를 이용할 수 있으므로, 하드터닝 공정에 소모되는 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 하드터닝 공정의 생산성도 향상시킬 수 있다.

[0075] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

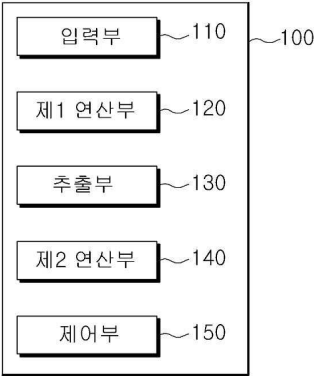
부호의 설명

[0076]

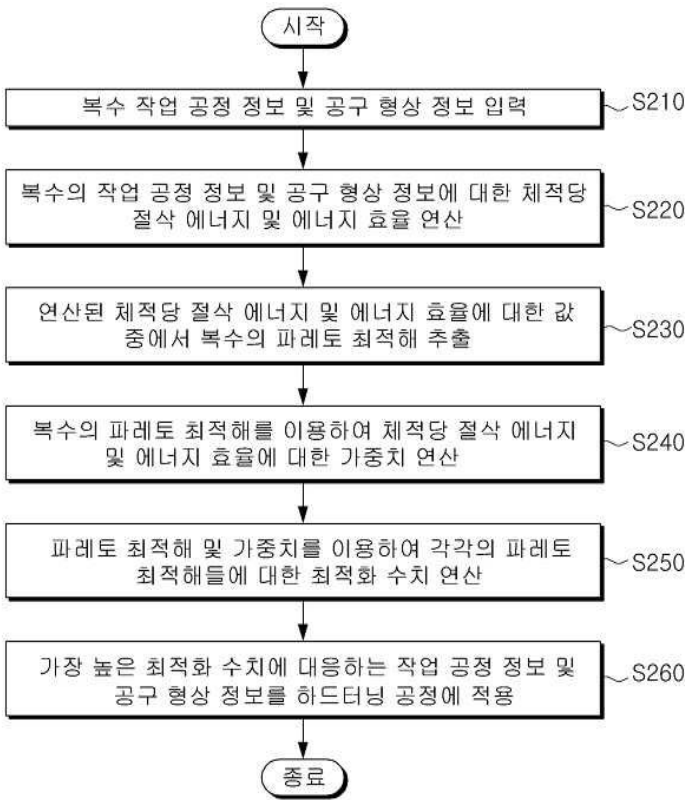
- | | |
|---------------------------|-----------|
| 100 : 하드터닝 공정 및 공구의 설계 장치 | 110 : 입력부 |
| 120 : 제1 연산부 | 130 : 추출부 |
| 140 : 제2 연산부 | 150 : 제어부 |

도면

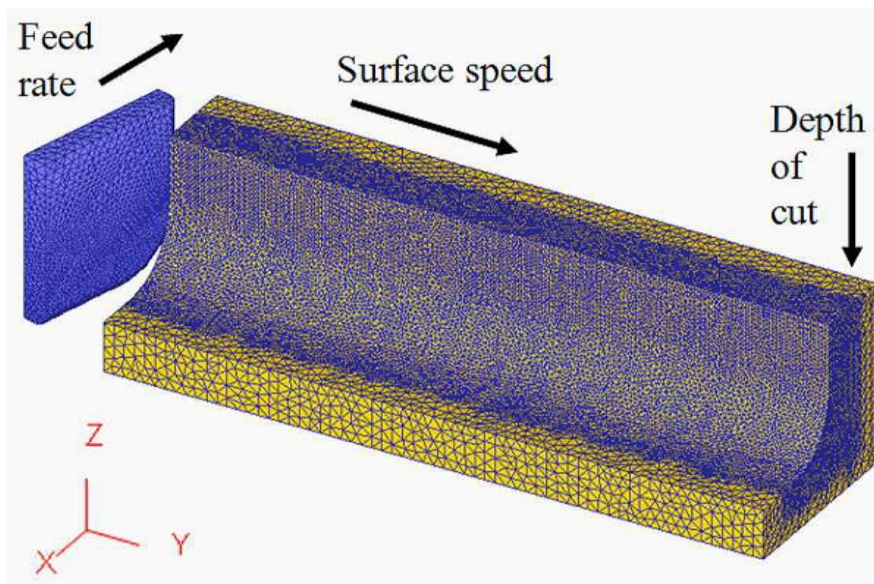
도면1



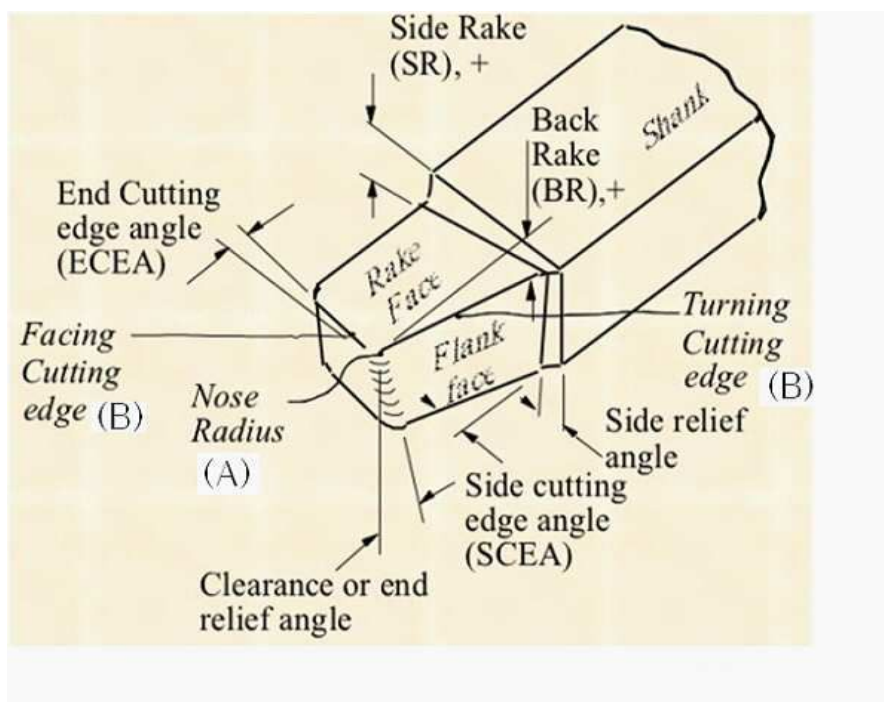
도면2



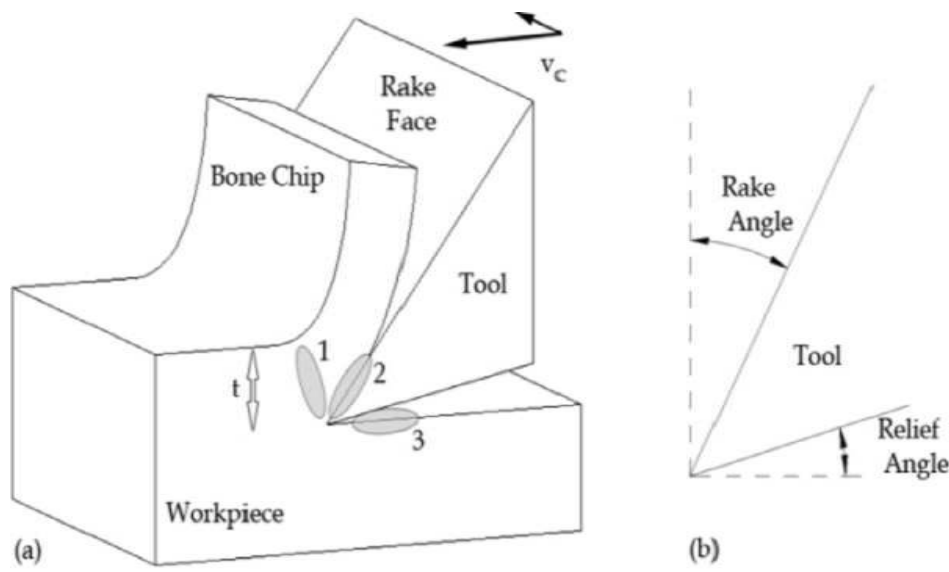
도면3



도면4a



도면4b



도면5

