

로봇에 의한 디버링 작업의 자동화(I)

- 회전 버 공구 사용을 중심으로 -

유 범 상* · 오 영 섭**

Robot Deburring Automation - Systems Using Solid Rotating Burr -

Beom-Sahng Ryuh*, Young-Sup Oh**

ABSTRACT

This paper encompasses a general technology in robot deburring automation using solid rotating burr tools. Deburring is a cumbersome area in finishing technology, where design concept and system implementation is based on knowhows and experiences rather than theoretical development. In the field engineering it is difficult to find a clue to where and how to start the system design. This paper presents a guide in selection of tool concept of geometry and material. Also, the concept of tool compliance system is introduced, which is one of the most important factor in robot deburring. Typical problems encountered in the field are classified into 20 categories and the solutions are suggested by the proven technology from the expertise. Special problems in polymer and diecasting areas are also briefly mentioned.

Key Words: deburring(디버링), robot(로봇), automation(자동화), burr(버), finishing(사상)

1. 서 론

버(Burr)는 가공 뒤 모서리에 튀어 나오는 원하지 않는 부분으로, 주로 절삭가공 뒤에 아니면 넓은 의미로는 주조, 단조, 소결, 용접, 절단, 도금, 도장에서 다양한 생성 기구, 형상, 치수, 성질로서 나타난다. 가공 경화에 의하여 모재보다 경도가 높은 경우가 많으며 취성 재질에서는 버가 생기는 대신 모서리가 부서지는 경우도 있다. 좁은 의미에서는 플래쉬(flash)와 구분되나 후속 공정에 불

량을 일으키고 작업자에게 위협하며 미관상으로 마무리가 안 된 느낌을 주는 공통점이 있다.

디버링 작업은 공수가 전체의 5%에서 수십%까지를 차지한다고 알려졌는데, 인식이 불충분하여 이에 대한 합리적인 대책이 세워지지 않은 채로 생산 단계의 귀찮은 일로 여겨지는 경우가 많았다⁽¹⁾. 그러나 제품 품질의 기준이 높아지고 생산공정의 자동화가 추진이 되면서 이에 대한 근본적이고 체계적인 대책을 필요로 하게 되었다. 이 분야의 선구자로는 미국 Bendix사의 생산 기술자인 Gille-

* 전북대학교 기계공학부, 자동차신기술 연구소

** 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

spie를 들 수 있는데 그를 중심으로 수 회의 국제 회의가 개최될 정도로 관심이 높아 졌다.

버에 관한 연구로는 우선 원천적으로 생기지 않도록 하는 연구가 가장 중요하며 불가피할 경우에는 버를 조절하는 연구가 필요하다. 즉, 버를 가능한 한 작고 균일하게 하며 후속 공정에 지장이 없는 방향으로 나오도록 생산 설계에서 충분히 검토한다. 예로, Kondo 등의 논문에서는 얇은 두께의 알루미늄 판을 전단할 때에 버 생성을 억제시키는 연구를 수행하였다²⁾. 그리고 최종적으로 어떻게 제거하여야 하는지를 연구한다. 여기에서는 디버링 방법의 선택 기준, 자동화 방법, 생산 라인 내의 공정 배치, 그리고 투자 타당성, 투자 효과 등이 검토되어야 한다³⁾. 이러한 종합적이고 체계적인 버의 기술은 독자적인 분야로서 미국의 Society of Manufacturing Engineers 등에 의하여 인정 받기에 이르렀다.

본 논문은 그 주제를 로봇에 의한 디버링 작업의 자동화로 국한시키고자 한다. 보다 포괄적이고 전체적인 문제에 관하여는 뒤에 인용한 참고 문헌을 참조하여 주기 바란다. 선진 산업국에서는 자동차 관련 산업, 주방 기기, 플라스틱 산업 등을 대상으로 디버링의 로봇 자동화가 추진되었다. 이의 중요 원인으로서는 인력난, 분진 등의 환경 문제, 생산 사이클 타임의 단축 요구 등을 들 수 있다. 사이클 타임의 문제는 자동차의 크랭크샤프트 등이 대표적인 경우이다. 우리나라에서는 아직 품질 기준이 비교적 낮고 임금이 싼 이유로 수작업 의존도가 높았으나 앞으로 이에 대한 수요가 급증할 것으로 보인다. 디버링 기술은 아직 보편화되지 않아 문헌을 찾기가 힘들며 관련 논문도 많지 않은 편이다. 디버링 자동화 기술 또한 생산 기술의 특수 분야로서 선, 후진국을 막론하고 이론적으로 체계화되어 있는 경우가 드물며 전문가의 노하우로서 그의 기억 속이나 보고서 등에 산재되어 있다⁴⁾.

로봇에 의한 디버링 자동화 시스템은 로봇과 주변 장치들로 구성된다. 디버링이나 기타 연마 절단 등에 사용되는데 로봇은 대상물에 지속적인 압력을 가하는 특성이 있으므로 아크 용접 등 대상물과 접촉하지 않는 작업에 사용되는 로봇과 강성, 내구성에서 차별을 두어야 한다. 주변 장치로는 첫째, 대상물을 단속 고정시키는 테이블이나 적정한 방위로 회전시키는 포지셔너나 인덱스형 테이블 등 피 작업물이 대형일 경우에 로봇을 이동시키는 트랙 모션을 들 수 있는데 아크 용접 등 다른 분야와 유사하다. 둘째로는 디버링 공구를 들 수 있다. 디버링 자동화의 가장 고유한 영역은 적절한 디버링 공구의 종류와 선정, 사용

방법에 관한 내용이라고 할 수 있으며 본 논문의 주제가 된다.

본 논문에서는 지면 관계상 버의 생성에 관한 이론, 형태 별 종류 등에 관하여는 다루지 않기로 한다. 이를 위하여는 고성립¹⁾ 등을 참고하기 바란다. 또한 버의 생성으로 인한 영향과 이를 설계 단계부터 제거, 조절하는 방안은 다까자와⁵⁻⁶⁾ 등을 참고할 수 있고 이 외에도 Ali 등의 논문에서는 디버링 작업에서 질량과 스프링 그리고 데시포트(dashpot)를 고려한 시뮬레이션을 수행하였다⁷⁾. 디버링의 방법은 35가지 이상이 보고되어 있다. 디버링 방법을 결정할 때에 가장 중요한 원칙은 전 공정을 통한 부품 가공 단가의 최소화이다. 이에 따라서 첫째 생산량, 사이클 타임, 재질, 요구 정밀도, 형상, 치수 등을 고려하고 둘째 버를 발생시키는 공정을 상세히 파악하며 셋째 버를 제거하여야 하는 이유를 정확히 파악하여 적절한 제거 방법의 개념 선정으로 들어 가야 한다.

한 편의 논문으로 모든 문제를 취급할 수는 없다. 본 논문은 로봇에 의한 디버링 자동화의 전 분야를 조망하여 보는 것으로 시작하여 그 중 가장 광범위하게 사용되는 회전 버 공구(Burr; Rotating file)에 의한 디버링에 집중하기로 한다. 본 논문은 로봇에 의한 생산 자동화 시스템 분야의 국내와 유럽, 일본, 미국 등지의 현장에서 축적된 로봇 디버링 자동화 시스템 기술 관련 보고 들을 체계화한 것이다. 버의 대표적 유형과 재질에 따라 작업을 분류하고 이에 따른 일반적인 해법을 제시한다. 또한 비교적 특수 분야에 속하는 폴리머와 다이캐스팅의 디버링에 관하여 별도로 소개한다.

2. 로봇 디버링 시스템의 공구

로봇 디버링 시스템은 디버링용 스피들 모터, 디버링 공구, 공구의 홀더부로 크게 구성된다. 각 부분에 관하여 간략히 살펴 본다.

2.1. 디버링용 스피들 모터

모터는 공구를 회전시키거나 왕복 진동시키는 역할을 하며 후 공작물이 작을 경우에는 공작물을 회전시키기도 한다. 속도에 따라 모터는 다음과 같이 분류가 가능하다.

-고속 모터: 15000 rpm 이상, 회전 버 공구에 주로 사용.

-중속 모터: 10000~15000 rpm, 직경 60 mm이하의 브러쉬에 의한 회전 작업에 사용.

-저속 모터: 500~1500 rpm, 구멍 내부 디버링용 등

특수 공구에 사용.

저속 모터에는 공압형이 사용되며 중, 고속에는 공압, 전기, 고주파 모터 등이 사용된다. 고주파 모터는 컨버터에 의하여 제어되는데 사양에 따라 5000에서 120000 rpm 까지 가변되며 최대 출력은 1 마력, 토크는 0.15 Nm 정도이다. 공압 모터는 가장 많이 쓰이는데 무부하 속도가 최대 30000 rpm 정도이며 최대 출력은 약 0.55 kW 정도이다. 값이 싸며 중량에 비하여 출력이 큰 장점이 있다. 왕복 진동형 공구에는 특수한 왕복형 모터가 사용되는데 분당 2000~4000 행정에 진폭이 1~9 mm 정도의 범위이다. 브러시의 회전에 의한 디버링에는 위에 언급한 모터가 사용되는데 로봇이 소형 공작물을 잡고 고정된 채로 회전하는 공구에 접근하거나 로봇이 공구를 잡고 공작물에 접근하는 두 가지 방법이 사용된다. 이때는 직경 60mm 이내의 소형 브러쉬로써 15000 rpm을 넘지 않도록 한다. 로봇에 소형 벨트 그라인더를 부착하여 사용하면 바깥에서 쉽게 접근 가능한 모서리 부위를 신속하고 고르게 제거할 때에 적당하다. 구멍의 내부를 디버링할 때에는 구멍의 직경에 따라 두 가지로 구분이 가능한데, 직경 25 mm 이상일 때에는 일반적인 고속형(15000 rpm 이상)의 회전공구로 디버링이 가능하고 25 mm 이하일 때에는 축이나 반경 방향으로 탄력성이 있는 특수 디버링 공구나 카운터싱킹 공구를 이용하여 30~60 m/분의 저속으로 절삭한다.

모터를 선정할 때는 가능하면 공압형을 사용한다. 여러 개의 공구 사용 등으로 속도 변화가 필요할 때는 고가의 고주파 모터와 자동 공구 교환 장치를 쓰기도 한다. 그러나 두 종류의 일정 속도가 필요할 때는 두 개의 공압 모터를 쓰는 경우와 비교 판단하여야 한다.

2.2 디버링용 공구

대표적인 공구로는 유연한 공구 (Flexible Tool), 회전형 버 공구 (Solid Burr: Solid Rotating Files), 왕복 진동형 (Oscillating File) 공구, 구멍 내부 디버링 공구 등을 들 수 있다.

유연한 공구로는 벨트와 브러쉬를 들 수 있다. 벨트는 광물 연마제를 후지(Backing)에 접착한 형태나 연마제가 첨가된 부직포 등이 있다. 브러쉬는 대개 나일론에 산화 알루미늄이나 실리콘 카바이드 등을 접착시킨 형태나 강철로 되어 있다. 섬유의 끝단에서 최적 작업이 일어난다. 일반적으로 벨트는 직선 형태의 모서리 디버링에, 브러쉬는 모서리의 디버링에 적합하다.

회전형 버 공구는 줄 (File)을 원형으로 만든 형태인데 재질과 형태가 다양하며 버의 형태, 재질, 위치, 양 등에 따라 적절한 형태를 선택하여야 한다. 결과가 가장 정밀하고 예민한 방법으로서 이를 적절히 활용하기 위한 연구가 뒤따라야 한다. 본 논문의 주요 주제가 이 부분이므로 다음 절부터 중점적으로 다룬다.

왕복 진동형 공구는 작고 좁은 버의 제거에 적합한데 버의 형상, 조건에 따라 단면 형상, 속도, 스트로크 등을 선택 조절한다 (Fig. 1). 구멍의 내부를 디버링하기 위하여는 적절한 방향의 스프링 탄성을 필요로 한다 (Fig. 2)

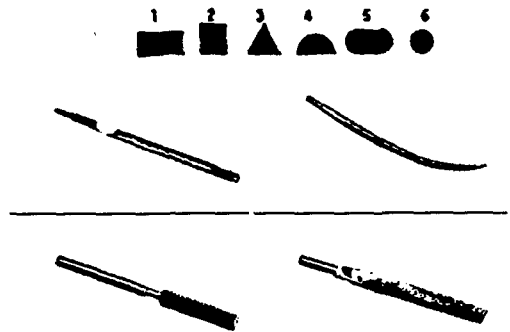


Fig. 1 Oscillating file and file profile

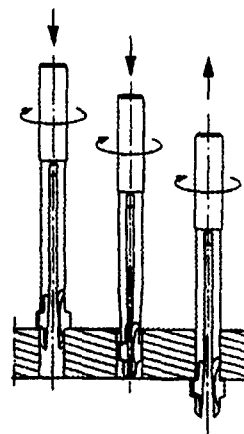


Fig. 2 Deburring inside holes

2.3 공구의 홀더부

회전형 버 공구는 다른 공구와는 달리 버를 제거할 때에 생기는 충격을 흡수하지 못한다. 또한 버의 양이나 경도가 일정하지 않으므로 로봇이나 스피들에 일시에 충격

이 가하여지고 결과가 불규칙하여 질 수 있다. 로봇의 경우에는 충격이 올 때에 여러 선언에 이어 작동 중단이 올 수도 있다. 이를 보완하기 위하여는 공구의 홀더부에 별도의 컴플라이언스를 주어야 한다. 컴플라이언스란 외력에 순응하여 충격을 흡수하고 탄력적으로 변형하는 것을 말하는데 간단한 경우에는 공구의 홀더를 이용하고 특수한 경우에는 모터 스피들과 공구부를 일체로 최적 제작하는데 값이 비싸게 된다. 일반적으로 공구에 의한 컴플라이언스는 다음과 같이 분류할 수 있다.

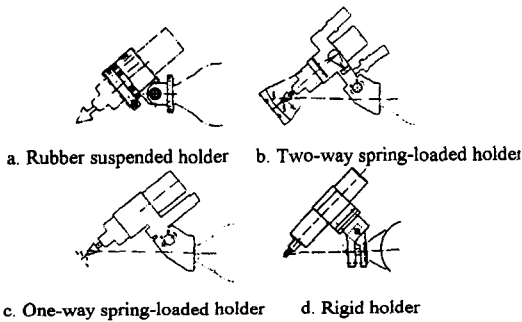


Fig. 3 Tool holder

- 다방향 컴플라이언스: 스피들을 고무 등의 탄성체로 감싸는 경우로 대개 스피들의 길이 방향으로 추력을 받는데 이용되며 고무의 탄성 복원이 느려 작업의 정밀도가 떨어진다.
- 단방향 컴플라이언스: 공구의 길이와 직각으로 한 방향으로 스프링에 의하여 컴플라이언스를 갖는다.
- 이방향 컴플라이언스: 직각 방향이나 두 방향으로 컴플라이언스를 갖는다.

2.4 로봇 디버링 공구의 선택

로봇을 이용한 공작물의 디버링 작업에서 적절한 공구를 선택하기 위하여 첫째는 베에의 접근성에 따라 공구의 기하학적 형상을 선택하고 둘째는 버의 크기와 위치에 따라 버 제거량 등을 조절하기 위한 적절한 공구의 컴플라이언스 개념을 선택한다. 셋째는 접촉력과 경로 속도, 공구 회전 속도, 공작물 재질에 관한 절삭 데이터를 조사하는 것이다. 이 외에도 공구의 선택에서 고려할 것은 모터의 종류와 사양, 공정 사이클 타임의 상한선 등이며 로봇의 설치 비용, 작업 비용의 최소화도 고려해야 한다.

3. 회전형 버 공구 (Rotating Burr; Solid Rotating File)

로봇에 가장 많이 사용되는 공구는 회전형 버 공구이다. 그 이유는 작업이 가장 정밀하고 결과가 예측 가능하며 공구도 소형이며 수명이 길고 대상 재료에 따라 여러 가지 재료의 공구가 가능하기 때문이다.

3.1 공구의 기하학적 형상

Fig. 4는 디버링에 사용되는 회전 공구의 형상을 보여주고 있다. 공구의 구조는 공구 본체(Tool body shape)와 공구 치형(Tooth shape and fluting pattern), 샹크(Shank)로 구분할 수 있다.

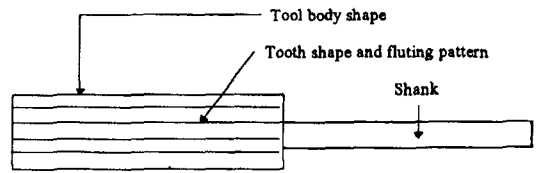


Fig. 4 Rotary burr

공구 본체는 컴플라이언스 축 (힘이 가하여 지는 방향)과 컴플라이언스 사용 방법과 관련하여 원기둥형, 원추형, 구형, 톱날 형의 휠과 컷터로 구분 된다. Fig. 5부터 Fig. 7까지는 여러 가지 컴플라이언스 축에 따른 다양한 공구 모양을 나타내고 있다. 로봇의 끝에 공구를 부착하여 사용할 때는 로봇 프로그래밍에 의하여 공구에 힘을 가하는 방향이 공구의 컴플라이언스 방향과 일치하는 것이 중요하다. Fig. 5는 반경 방향의 컴플라이언스 경우에 사용하는 원통형 공구를 나타내고, Fig. 6은 축 방향 컴플라이언스 경우의 원뿔형 공구를 나타내며 Fig. 7은 다방향 컴플라이언스의 구형 공구와 컴플라이언스가 없는 경우의 공구를 나타내고 있다.

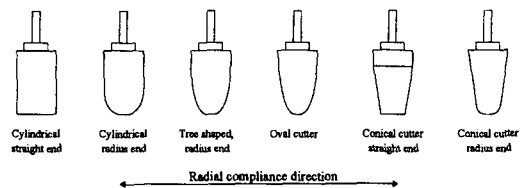


Fig. 5 Cylindrical shapes for radial compliance

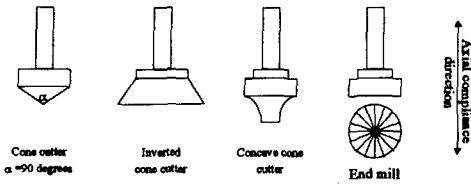


Fig. 6 Conical shapes for axial compliance

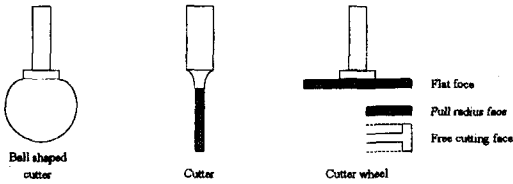


Fig. 7 Ball shaped cutter for multi-directional compliance and Cutters for no-compliance applications

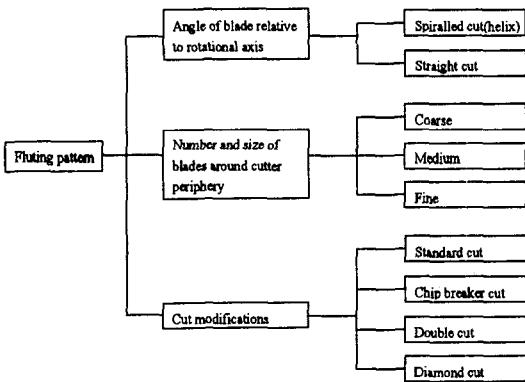


Fig. 8 Hierarchy of fluting pattern

Fig. 5에서 직선단이 있는 원추형 모양(Conical cutter straight end)은 사용 중 다시 연마하지 않아도 공구를 날카롭게 유지할 수 있어 로봇 자동화에 유리하다.

Fig. 7의 다방향 컴플라이언스를 갖는 구형 공구는 마모되어도 공구의 중심 (구의 중심)이 변하지 않아 로봇의 원점 재설정 불필요하며 곡선 경로를 따르는 버의 접근이나 촘촘한 공간에서의 복잡한 곡선과 구멍의 디버링에 유리하다. 컷터 휠(Cutter wheel)과 직선 컷터(Straight cutter)는 연한 재질에 사용되거나 진동을 방지하는 유도 시스템을 필요로 한다.

Fig. 4에서의 공구의 날의 유형(Fluting Pattern)은

절삭인(Cutter edge)의 형태를 나타내는데 Fig. 8과 같이 분류할 수 있다.

로봇의 작업에 사용할 적정 공구를 선정하기 위한 작업은 Fig. 8의 나선형(Spiral cut)의 표준 날(Standard cut), 중간 날 수(Medium number)를 갖는 공구로 시작해야 한다. 디버링 작업을 할 때에 만일 다이아몬드 컷, 이중날 컷, 칩 브레이커 등을 사용하면 칩의 크기와 형상이 영향을 받는다. 다이아몬드 컷 홈 패턴은 삼각형 모양의 이를 만들어 내고 이중날 컷 홈 패턴은 팔 모양의 이를 만들어 칩 브레이커의 사용은 칩의 폭을 감소시키므로 주의하여 선택해야 한다.

지금까지 공구 형상에 의한 선택에 관하여 언급하였다. 다음은 두 번째로 공구 컴플라이언스 시스템에 대하여 알아본다.

3.2 공구의 컴플라이언스

전술한 바와 같이 컴플라이언스는 디버링을 위한 외력(Force)에 대하여 공구나 모터 또는 그 홀더가 순응하여 탄성 변형하는 현상을 말한다. 경로의 함수로서 힘을 능동 제어하는 방법은 사용하지 않으므로 공구에 걸리는 힘은 대개 로봇의 위치에 관계없이 일정하다. 공구 시스템에 컴플라이언스를 주는 방법은 공구 홀더를 이용하는 간단한 방법과 좀더 복잡하고 정밀한 모터와 공구, 서스펜션을 통합한 시스템에 의한 방법이 있다. 간단한 홀더를 이용하는 경우는 경제적이거나 챔퍼 정확도와 작업의 속도와 형상 정밀도는 통합 시스템의 경우에 비하여 떨어진다.

공구의 컴플라이언스 방향은 Fig. 9와 같이 서스펜션 축의 방향에 따라 반경 방향과 축방향 컴플라이언스, 2방향 3방향 컴플라이언스, 반고정형(Semi-rigid) 공구와 고정형 공구의 6가지로도 분류할 수 있다. 이에 따라 적절한 개념의 홀더를 선택하여야 한다 (Fig. 3).

로봇 디버링에 가장 일반적으로 사용되는 반경 방향 컴플라이언스는 공구 홀더의 조합이 단순하고 균형 잡기가 쉽다는 장점이 있으나 6축 로봇의 자유도를 필요로 하는데 이때 6축은 버의 방향과 컴플라이언스 축이 서로 수직하도록 사용되어야 한다. 구멍 가장자리의 디버링이 가장 대표적인데 이때 로봇의 손목은 360도 회전한다.

축 방향 컴플라이언스는 새로운 개념으로서 사용이 확산되는 추세에 있다. 기존에는 전체 모터와 공구가 동시에 축방향으로 움직여 컴플라이언스 시스템이 무거웠으며 공구 컴플라이언스 요소로부터 일어나는 접촉력과 동일한 방향으로 발생하는 중력의 영향을 피하기 위하여 동

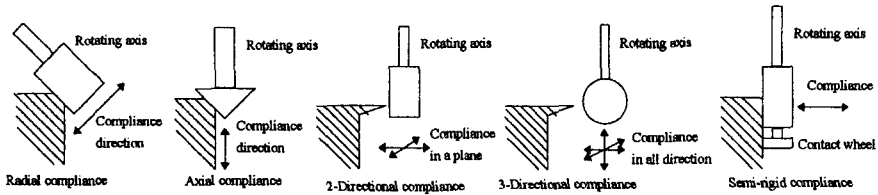


Fig. 9 Compliance for suspension axis

일한 면에 존재하는 버의 제거에만 사용되었다. 요즘은 개발된 경량화 된 특별한 축 방향 컴플라이언스 공구 시스템은 서스펜션 시스템이 가벼울 뿐만 아니라 원호 경로를 디버링 하는 동안에 빠른 손목 운동이 필요하게 되어 반경 방향 컴플라이언스 보다 프로그래밍 작업량이 줄어들게 되었다.

2방향 3방향 컴플라이언스 축은 로봇의 프로그래밍이나 실행 도중에 원점 재설정이나 거의 필요 없어 많이 쓰인다. 이러한 공구 시스템은 접근이 어려운 위치에서도 쉽게 작업할 수 있는 장점이 있으나 공구의 떨림과 이에 따른 마모가 문제가 될 수 있다. 이런 경우 대개 공구의 속도를 늦추어야 한다. 버의 형상이 불규칙한 경우에는 공구가 일시적으로 멈추다 다음 부위를 갑자기 타고 넘는 경우가 생긴다. 또한 버 선단에 접하는 이웃하는 면이 위치에 따라 변하거나 버의 양이 불규칙할 때 챔퍼 폭이 불균일하여 질 수 있다. 반 고정형 공구(Semi-rigid Tools)는 프로그램 된 경로에 비하여 실제의 버 경로가 변한다 할지라도 공작물에 항상 바뀌를 접촉시키고 있어 예상하지 못한 커다란 버를 제거하는데 적절한 공구이다. 반 고정형 공구는 버의 끝을 향한 이웃 면이 버의 끝에 대해 항상 동일한 위치에 있는 기계 가공품이나 구조물에 적절하다.

공구의 컴플라이언스는 또한 컴플라이언스 요소에 의하여 분류할 수 있는데 사용되는 요소로는 고무, 공압, 기계적 스프링, 중력 등이 있다. 고무는 2·3 방향 컴플라이언스 공구를 만드는데 종종 사용되고 또한 컴플라이언스 축을 한 축으로 제한하기 위하여 베어링을 사용한 공구와의 조합으로도 사용된다. 고무는 다른 요소와 달리 힘과 변위의 관계가 비선형적이다. 고무 요소의 단점은 균열이 발생하여 자주 교환해야 한다는 점이며 더 나아가 고무를 교환할 때마다 TCP(Tool Center Point)를 재 설정해야 한다는 점이다. 공압 컴플라이언스 요소를 사용할 때는 서스펜션 시스템에 마찰이 발생하지 않도록 해야만 한다. 공압 요소는 압력을 손쉽게 변환하여 접촉력을 조절할 수

있고 큰 변위 범위 내에서 접촉력이 일정하다는 장점이 있다. 기계적 스프링은 가장 단순한 요소로 정확하므로 1축 컴플라이언스 공구에 자주 사용되며 조절 나사(Set-screw)로 접촉력을 조절한다. 또한 일정한 힘으로 늘려진 스프링을 사용하여 제한된 행정 길이 내에서 일정한 힘을 유지하게 만들 수 있다. 중력에 의하여 접촉력이 발생하는 공구는 일반적으로 바닥에 고정되며 로봇이 공작물을 잡고 공구에 접근한다. 대개의 디버링 작업에서 로봇이 상대적으로 가벼운 공구를 잡는데 반하여 로봇이 공작물을 잡는다는 사실은 큰 단점으로 볼 수 있다.

공구 컴플라이언스 시스템을 분류할 수 있는 마지막 기준으로는 성능 평가에 의한 방법을 들 수 있다. 성능을 좌우하는 요소에는 모터 출력, 모터 속도, 가용 접촉력 범위, 접촉력 안정성, 공구와 모터의 형태와 크기(공작물에의 접근성), 공구의 고정 위치(로봇이나 바닥이나) 등이 있다. 이중 접촉력 안정성은 공구의 위치가 뒤집히거나 고속에서 가속되며 회전할 때에도 접촉력을 일정하게 유지시키는 정도를 나타내는데 사용된다. 접촉력 안정성은 디버링을 시작하여 공구가 공작물에 닿을 때 중요하며 코너 부위 작업에서 프로그래밍이 정확하지 않고 속도가 빠르며 서보 지연(Servo Lag)으로 로봇이 떨릴 때에도 중요하다. 접촉력은 공구의 서스펜션 시스템의 상태와 공구 가속도의 접촉력 방향 성분의 함수이다. 각 공구는 컴플라이언스 부분의 질량에 대한 관성을 가지고 있어 서스펜션 요소는 공구의 위치가 변할 경우에 접촉력을 보정하는데 시간을 필요로 한다. 그러므로 공구의 접촉력과 접촉 관성 사이의 관계는 중요한 인자이다. 접촉력이 관성에 비해 상대적으로 낮으면 공구는 일정한 챔퍼를 만들지 못하게 된다.

이상과 같이 공구 컴플라이언스를 반경 방향과 축 방향 컴플라이언스, 2·3 방향 컴플라이언스, 반 고정형과 고정형으로 나눌 수 있었다. 컴플라이언스는 홀더의 컴플라이언스나 공구 자체의 컴플라이언스를 사용할 수 있었다. Fig. 10은 위의 상황을 모두 고려한 공구의 분류표이다.

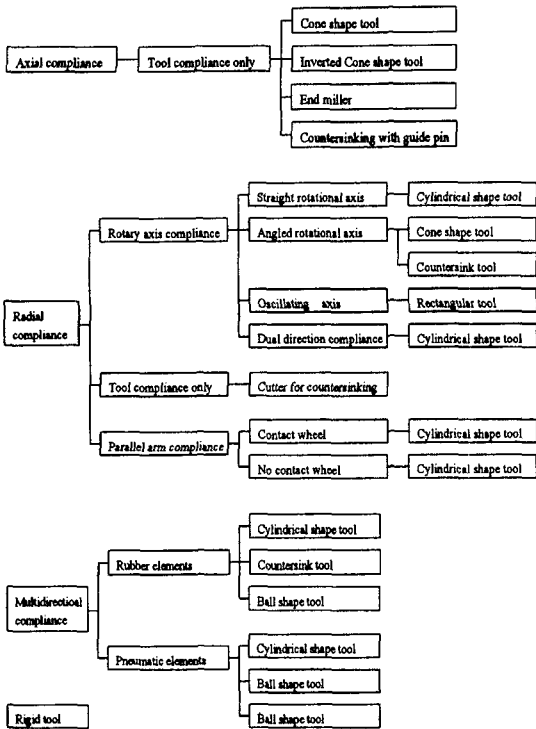


Fig. 10 Hierarchy of solid deburring tools

다음에는 공구를 선택할 때 고려해야 할 공구 시스템에 대한 기타 사항을 알아본다.

3.3 디버링 작업의 공구 운전 조건

적절한 공구와 모터 그리고 공구 홀더 (컴플라이언스)가 선정된 후에는 정확한 요구 수준의 챔퍼(반경, 폭, 각, 표면 거칠기)와 최소 사이클 타임, 공구의 최소 마모를 위하여 공구 운전 조건의 최적화가 필요한데 이때 작업에서 주어진 조건과 제어해야 할 시스템 변수는 Table 1에 주어진 바와 같다.

Table 1 Given factors and control variables

Given factors	Control variables
1. Workpiece material	1. Contact force 2. Path speed 3. Tool rotational speed and rotational direction 4. Orientation of tool relative to burr
2. Burr properties (size, hardness, etc.)	
3. Tool material and geometry, cut type	
4. Stiffness of workpiece including its clamps	
5. Tool holder stiffness (including robot), measured in different directions	
6. Maximum robot speed	

3.3.1 공구 운동

디버링 로봇 시스템에서는 대개 회전 공구의 표면속도 (Surface speed)가 가장 중요한 제어 요소이다. 그 외의 중요한 파라미터로서는 시스템 강성도(Stiffness)와 컴플라이언스 시스템에서의 힘/관성력 관계 그리고 로봇의 경로 속도, 공구의 회전 방향이 있다. Table 2는 공작물 재질에 따른 적정 공구 표면 속도를 나타내며 Fig. 11은 공구 표면 속도에 따른 공구 직경과 공구의 회전 속도의 관계를 나타낸다⁽⁸⁾.

공구 절삭 방향에 따라, 상향 절삭(Push cutting)이 하향 절삭(Climbing cutting)에 비하여 힘이 더 드는 것으로 알려져 있다. 빠른 사이클 타임을 달성하기 위하여 공구는 양복하며 상향 절삭과 하향 절삭을 다 사용하여야 하는데 상향 절삭은 절삭 저항이 크고 공구의 마모의 증가와 더불어 떨림이 발생할 수 있으므로 가공물을 충분히 강도로 고정할 필요가 있다.

시스템 전체의 강성도(Stiffness)는 공구 홀더와 공작물의 강성도로 구성된다. 공작물 강성도는 공작물에 대한 클램프의 강성도와 공작물 자체의 강성도로 이루어진다. 공구 홀더 강성도는 로봇 손목을 포함한 로봇 팔의 강성도와 홀더 내 모터의 강성도, 회전부의 회전축 베어링 강성도의 합으로 계산된다. 일반적으로 접촉력 방향의 컴플라이언스는 고려해야 하나 그 외 방향의 변형도는 진동을 야기하며 작업을 방해한다. 한 예로 고무에 의한 컴플라

Table 2 Surface speed for each materials

Material	Tool surface speed(m/sec)
Aluminum, zinc alloys, Plastic.	5 - 30
Cast iron, brass, copper	8 - 25
Mild steel, bronze	5 - 10
Titanium, stainless steel, hardened steel	8 - 15
Ceramics	8 - 20

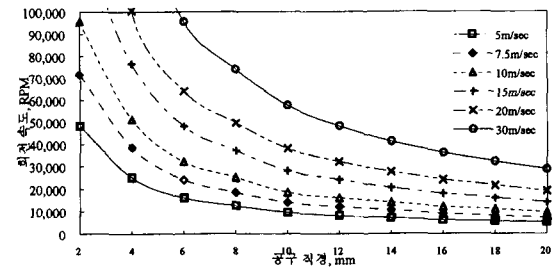


Fig.11 Relations between revolution speed and tool diameter in each surface speed

이언스 요소는 이송 방향으로의 강성도가 낮기 때문에 진동 등의 문제를 야기한다.

3.3.2 공구 재료

절삭공구의 재료는 경도(Hardness), 인성(Toughness), 내마모성, 공작물 재질에 대한 열·화학적 안전성 등을 필요로 한다. 다양한 형상의 텅스텐 카바이드 공구와 고속도강 공구, 또 다이아몬드와 CBN이 코팅된 표준형상의 공구도 디버링에 유용하다.

일반적으로 사용되는 기본 재료와 재질 그리고 경도를 아래 Table 3에 나타낸다.

Table 3 Relations between material and hardness

Abrasives basic elements	Hardness HK, kg/mm ²	Material	Hardness HK, kg/mm ²
Aluminium oxide(Al ₂ O ₃)	2000-3000	Common glass Gray iron 70-30 brass High speed steel(HSS) Hardened steel	300-500 200-300 100-150 800-1100 700-1300
Silicon carbide(SiC)	2100-3000		
Tungsten carbide(WC)	1800-2400		
Tantalum carbide(TaC)	1600-2200		
Titanium carbide(TiC)	1800-3200		
Titanium nitride(TiN)	2000		
Cubic boron nitride	4000-5000		
Diamond	7000-8000		

산화 알루미늄과 실리콘 카바이드(Aluminium oxide and silicon carbide)는 취성이 커서 사포같은 코팅 연마지(Coated abrasives)와 그라인딩 휠같은 결합 연마제(Bonded abrasives)로 사용되는 가장 일반적인 제품이다. 텅스텐 카바이드(Tungsten carbide), 탄탈럼 카바이드(Tantalum carbide), 티타늄 카바이드(Titanium carbide) 등의 초경합금은 금속의 외형이며 다양한 방법들을 통하여 구조할 수 있고 전열성이 좋다. 또 용해점까지 구조 변화 없이 거동한다. 텅스텐 카바이드는 로봇 디버링에서 가장 많이 쓰이는 공구 재질이다. 티타늄 카바이드(Titanium carbide), 질화 티타늄(Titanium nitride)은 확산법(Diffusion)에 의하여 모 재질 위에 얇은 연마층을 입힘으로써 적층 공구(Laminated tools)를 만들 수 있는 재질이다. 고속도강은 강화된 카바이드보다 낮은 속도로 사용되고 경도는 낮으나 높은 인성을 갖는다. 고속도강은 초경합금보다 경도가 약하기 때문에 상대적으로 연한 재질에는 유리하나 절삭 속도를 낮추어야 한다.

다이아몬드와 CBN은 Table 3에서 보는 바와 같이 가장 경도가 큰 재질로 알려져 있는데 고형·공구의 코팅 연마제나 그라인딩 휠 형태의 결합 연마제로 사용될 수 있다. 이들 공구는 텅스텐 카바이드, 산화 알루미늄 등보다 공구 수명이 길고 내마모성이 높다. CBN은 다이아몬

드 다음으로 경도가 큰 물질로 다이아몬드와 많은 점에서 비슷하다. 다이아몬드에 대한 CBN의 장점은 금속이나 다른 물질과의 마찰로 야기되는 고온에 대하여 매우 안정하다는 것이다. 1000°C 이상의 온도의 대기에서도 안정하다. 그러나 CBN은 열전도도가 낮아 냉각수가 필요하다는 단점을 가지고 있다.

4. 디버링 작업

위에서는 공구의 선택에 관한 직접적인 문제에 대하여 언급하였다. 이제 공구가 선택되고 실제로 로봇을 이용하여 디버링을 할 때 알아야 할 제반 사항과 문제점에 대하여 알아본다.

4.1 작업 전 고려 사항

디버링에서는 대개 특정한 곡률 반경을 갖는 등근 챔퍼나 특정한 폭을 갖는 직선 챔퍼를 만들게 된다. 디버링에서 모든 요소들(버의 폭, 두께, 재질 등등)이 일정하다면 회전형 디버링 공구의 순수한 위치 제어만으로 일정한 결과가 가능하나 다음과 같은 변수들이 디버링의 결과에 영향을 미치고 있다.

- 가공물마다 그리고 모서리의 위치마다 다른 버의 크기와 형상
- 버 선단에서 공작물을 접근하는 위치에 따라 달라지는 이웃하는 두 면의 관계
- 로봇의 반복 정밀도 문제

이러한 문제에 대한 전체적인 해결 방법은 없으나 일부 문제들은 해결이 가능하다. 공구 측면에서의 해결 방법으로는, 첫째 공작물과 공구 사이의 접촉력을 제어하는 방법으로 적절한 공구 컴플라이언스를 사용하고, 둘째 과도한 디버링 반력을 피하기 위하여 로봇의 속도를 조절하고, 셋째 공구 컴플라이언스의 대안으로 로봇에 내재된 소프트웨어에 의한 컴플라이언스 기능을 사용하거나, 넷째 버의 크기와 위치를 측정하는 방법을 모색하여 그때마다 다른 로봇 경로를 생성하는 방법도 있다. 마지막으로 로봇의 작업 부위에 관한 위치 제어 대신에 로봇의 힘을 조절하는 방법이 있다. 로봇의 힘 제어란 프로그램 된 방향에서의 힘이 위치보다 우선적으로 제어된다는 의미이며 프로그램 된 이외의 다른 방향으로 모두 고정된다. 힘이 변화할 때 빠른 응답을 얻기 위하여 위치 서보보다 다른 서보 알고리즘을 사용하는 것이 필요하다. 그러나 아직까지 일반적인 힘 제어는 안정성이나 동적 응답에

문제가 있어 연구 단계에 있다.

4.2 디버링 작업 중 문제점

이제 로봇 디버링의 실제 작업에서 직면하는 로봇의 경로 부정확과 공구의 떨림, 로봇의 공구가 공작물에 접근할 때의 문제점과 공구의 마모에 대하여 알아본다.

4.2.1 경로 부정확

로봇이 전과 동일한 경로를 따르지 못하면 챔퍼가 일정치 않게 되는데 여기에는 다음의 이유가 있다.

- 공작물 치수 공차의 폭이 로봇이 작업할 수 있는 허용 범위를 벗어난다. 고정형 회전 공구인 경우에 버의 위치 변동은 1mm에서 최대 3-4mm로 제한되어야 한다. 이보다 더 큰 경우는 선행 공정에서 제거되어야 한다.
- 로봇이 확실히 고정되어 있지 않다.
- 공작물 고정구가 위치를 벗어나 있거나 적절하게 고정하지 못한다.
- 먼지나 불순물이 공작물 표면에서 공작물의 완벽한 고정을 방해한다.
- 과부하나 충돌로 인하여 디버링 공구의 위치가 변한다.
- 등근 모서리 경로에서는 로봇의 서보 지연(Servo Lag)이 디버링 작업을 방해하여 챔퍼의 불균일을 초래할 수 있다. 이럴 때에는 좀더 간결한 형상의 공구로 교환하고 로봇의 움직임을 가능한 한 느리게 한다.

4.2.2 공구의 진동

공구의 진동은 새 공구의 최초 테스트 때나 아니면 공구를 장착한 후 상당 기간이 지난 후에도 발생할 수 있는데 디버링 공구를 손상시키고 공구 날을 파손시킬 수도 있다. 그 이유를 몇 가지 열거하면 다음과 같다.

- 고무 등의 다방향 컴플라이언스를 사용할 때, 버가 로봇 경로상에 고르게 분포하지 않거나 속도가 너무 빠르거나 너무 높은 접촉각을 사용하면 나타날 수 있다.
- 로봇이나 공작물의 고정이 확실하지 않을 때 발생할 수 있다.
- 공구 컴플라이언스 시스템의 베어링이나 가이드 면에 백래쉬나 마모가 있을 때
- 공구 컴플라이언스 시스템의 능력에 비하여 접촉력이 너무 작을 때 공구에 진동이 발생하여 일정한 챔퍼를 만들지 못하게 된다.
- 공구와 공작물 사이의 접촉각이 너무 크거나 공구 직경에 비해 절삭이 너무 깊을 때

- 로봇의 베어링이나 기어의 마모에 의하여 공진 주파수가 낮아질 때
- 공구나 컴플라이언스 시스템을 잘못 선정하였을 때

4.2.3 공구의 공작물 접근 방법

로봇에 의하여 디버링을 할 때에는 필요한 총 공구의 수를 되도록 줄여야 한다. 로봇의 프로그래밍에 관하여는 아래와 같은 상황에 주의를 요한다.

- 6 축의 운동과 공구 방위의 관계에 주의하고 4축과 6축이 디버링 작업 동안 일직선이 되는 것을 피하여 특이점(Singularities)을 피한다. 축 방향 컴플라이언스 공구인 경우에 6 축과 공구 회전축을 90도로 만들고 반경 방향 컴플라이언스 공구인 경우는 6 축과 나란하게 한다.
- 공구의 중심이 로봇 팔목 중심으로부터 너무 멀리 떨어져 있지 않도록 한다. 너무 떨어지면 공구의 회전이 로봇 손목에 과도한 움직임을 요구하고 진동을 발생시킨다. 또한 서보 지연이 모서리에서의 정밀도를 제한한다.
- 로봇과 공작물의 상대적 운동을 잘 활용하여 작업의 주 경로에서 가장 빠르고 적절한 축을 사용할 수 있도록 한다. 로봇의 2, 3 축에 의한 운동(반경 방향 운동)이 1 축에 의한 운동(접선 방향 운동)보다 정확하다.
- 크고 무거운 디버링 모터의 사용은 피한다. 속도와 접근성, 정밀도가 제한된다.

4.2.4 공구 마모

공구 마모에서 중요한 고려 사항은 다음과 같다.

- 회전형 공구를 사용할 때, 공구면 전체가 고무 마모되도록 프로그래밍 한다.
- 날이 파손되었다면 작업 조건이 나쁘다는 신호이다. 날이 깨지면 날을 검사하고 공구의 작업 조건(회전수, 속도, 접촉력, 접촉각)을 검사하며, 진동이 있는지 검사한다.
- 공구 재질 특성에 따른 마모의 메커니즘을 살펴본다. 이상으로 공구 선택과 로봇의 운용에 관하여 설명하였다. 다음 절에서는 현장에서 실제로 당면하는 문제들을 유형화하여 가장 적절한 해결법을 제시하고 마지막으로 디버링 공구의 스펙들로 사용되는 모터와 특수 분야인 폴리머와 다이캐스팅의 디버링 자동화에 관하여 알아본다.

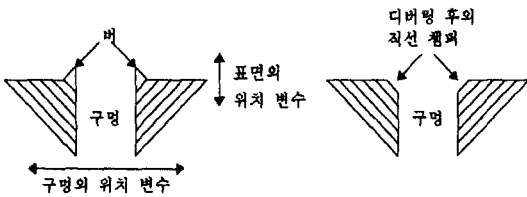
5. 디버링 작업 유형에 따른 공구의 선택

가장 중요한 것은 버의 형상에 가장 적절한 공구를 선택하는 것이고 다음은 현재의 작업 조건에서 가장 보편적인 공구를 선택함으로써 공구의 수를 최소로 하는 것이다. 그러나 사이클 타임의 최소화가 중요하면 여러 개의 공구를 사용할 수도 있다. 다음에 실린 것은 로봇 디버링 분야의 현장에서 오랜 시행 착오에 의한 경험 축적을 유효화하여 수록한 것이다. 맨 먼저 문제의 유형이 제시되고 이에 따른 해결 방법이 주어졌다. 주어진 해결 방법은 피상적이고 상식적인 해가 아니다. 잘 보면 시중에서 구입 가능한 회전 공구 중에서 최적의 공구가 선택 제시되고 이에 따라 적절한 컴플라이언스의 방향이 제시되었다. 이러한 해는 유일한 것은 아닐 수 있으나 이러한 가이드라인이 주어지지 않으면 기술자는 처음부터 시행착오를 되풀이하거나 정보 수집에 많은 시간을 소모하게 된다. 앞의 컴플라이언스 관련 부분 등을 잘 이해하여 차질이 없기를 바란다.

5.1 작업 유형별 해결 방법

구멍의 디버링(1~8)

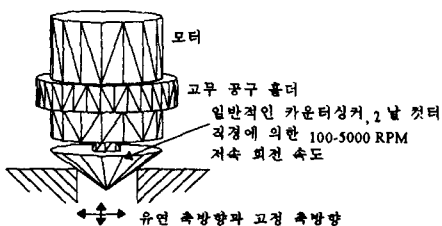
1. 구멍의 카운터싱크, 구멍의 위에서 접근



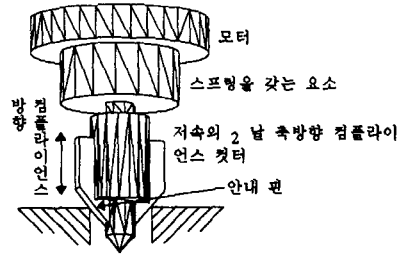
예 : 차량 범퍼, 조향 너클, 펌프의 플렌지 등.

해결:

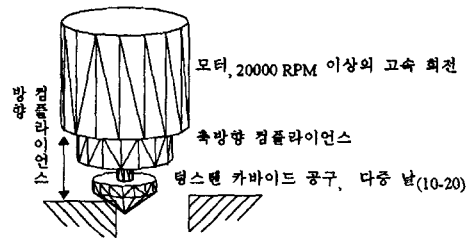
(1) 카운터싱커, 다중 방향 컴플라이언스 공구 홀더



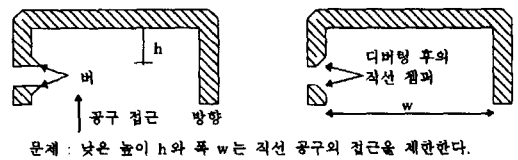
(2) 특수 카운터싱커, 축방향 컴플라이언스



(3) 원뿔 모양의 카바이드 공구, 축방향 컴플라이언스



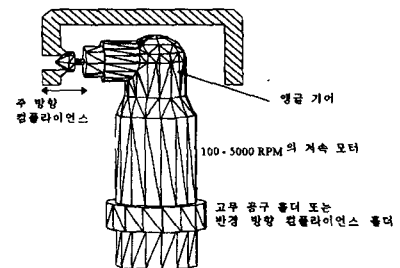
2. 구멍의 카운터싱크, 측면에서의 접근으로만 제한



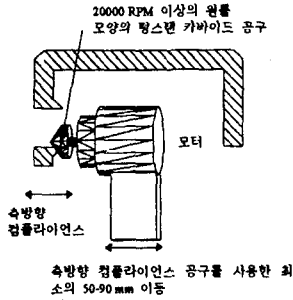
예 : 차량 범퍼 등.

해결:

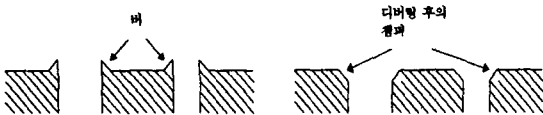
(1) 앵글(직각형) 기어와 다중 방향 컴플라이언스 홀더를 갖는 카운터싱커와 공구



(2) 원뿔 모양의 카바이드 공구, 축방향 컴플라이언스



3. 다양한 직경을 갖는 구멍의 카운터싱크

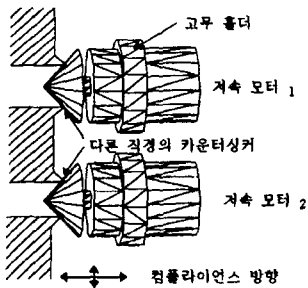


문제 : 구멍(비)의 위치가 조금씩 다르다.

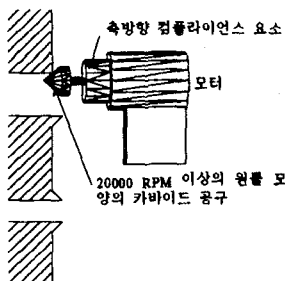
예 : 플렌지 등.

해결 :

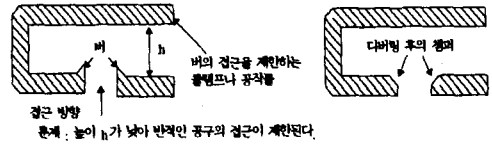
(1) 수개의 전용 카운터싱커, 다중 방향 컴플라이언스



(2) 원뿔 모양의 카바이드 공구, 축방향 컴플라이언스



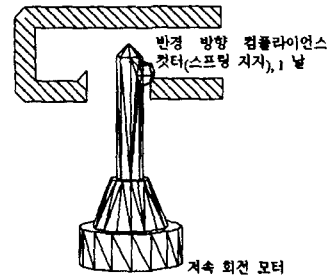
4. 구멍의 카운터싱크, 구멍을 통해서만 접근 가능



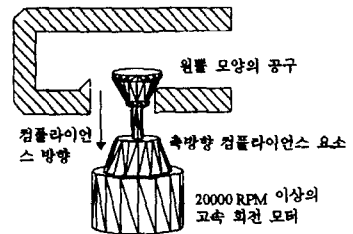
예 : 조항 너클

해결 :

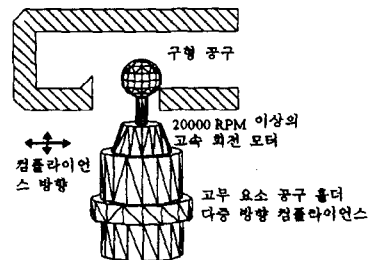
(1) 특수 카운터싱커, 날에 있어서 반경 방향 컴플라이언스



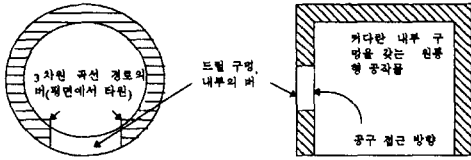
(2) 원뿔 모양의 카바이드 공구, 축방향 컴플라이언스



(3) 구형 공구, 다중 방향 컴플라이언스



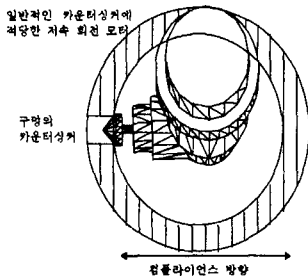
5. 큰 구멍 내부의 작은 구멍의 카운터싱크, 직각 축



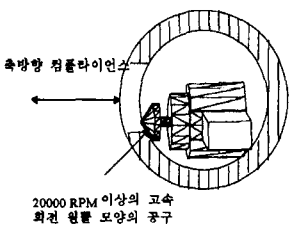
예 : 디젤 엔진

해결 :

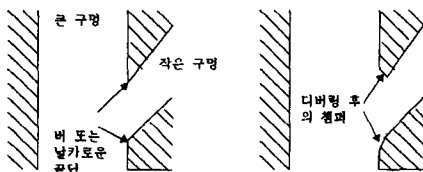
(1) 카운터싱커, 반경 방향과 다중 방향 컴플라이언스, 앵글 기어



(2) 원뿔 모양의 카바이드 공구, 복합 축방향 컴플라이언스



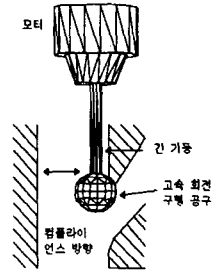
6. 큰 구멍 내부의 작은 구멍의 카운터싱크, 비 수직 축



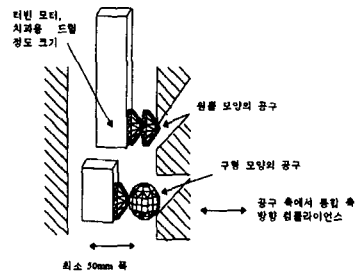
예 : 디젤 엔진, 클러치 증폭기

해결

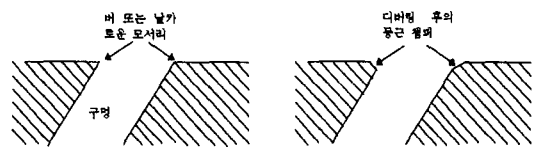
(1) 여러 개의 전용 카운터싱커, 다중 방향 컴플라이언스



(2) 원뿔 모양의 공구, 축방향 컴플라이언스



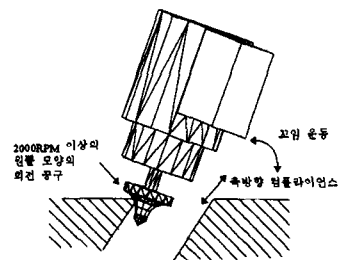
7. 면에 임의의 각도를 갖는 구멍의 버 제거



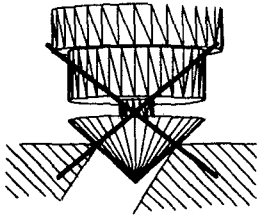
예 : 크랭크 축

해결 :

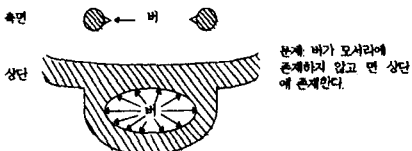
(1) 원뿔 모양의 오목 공구, 축방향 컴플라이언스 공구



(2) 카운터싱커, 다중 방향 컴플라이언스



8. 주조품 구멍 내부의 버 제거

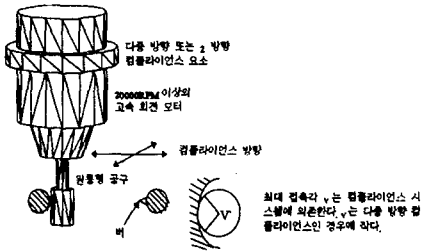


예 : 주조품 손잡이

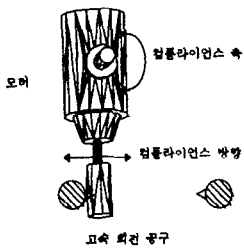
예 : 주조품 손잡이

해결:

(1) 원통형 공구, 다중 방향 컴플라이언스

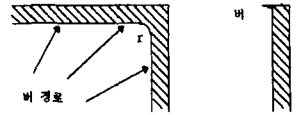


(2) 원통형 공구, 1방향 컴플라이언스



모서리의 디버링(9~18)

9. 안쪽 구석 모서리의 버 제거

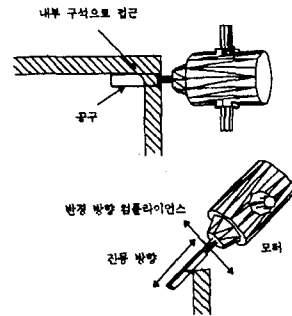


문제 : 내부 구석의 반경 r 이 매우 작다. (2mm 이하)

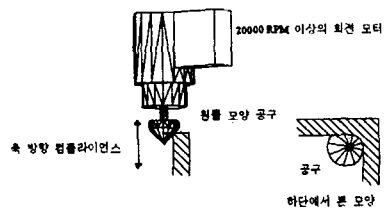
예 : 차량 범퍼, 볼 베어링 링, 자동차 기어 요소

해결:

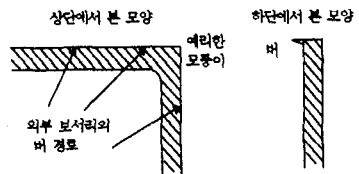
(1) 진동 직사각형 공구, 1 방향 공구 홀더



(2) 원뿔 모양의 카바이드 공구, 축방향 컴플라이언스



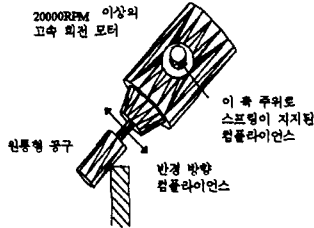
10. 직각 모서리 외부의 버 제거



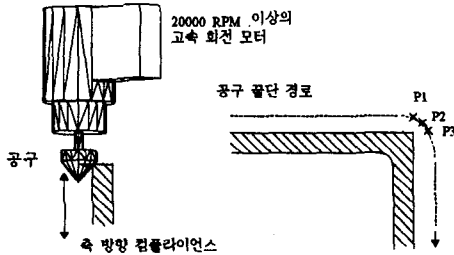
예 : 차량 범퍼, 기계 가공품 등

해결:

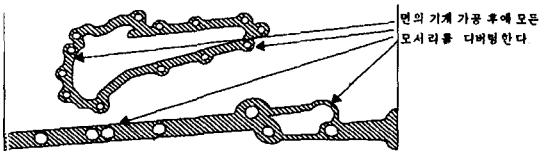
(1) 원통형 공구, 반경 방향 컴플라이언스



(2) 원뿔 모양의 카바이드 공구, 축 방향 컴플라이언스



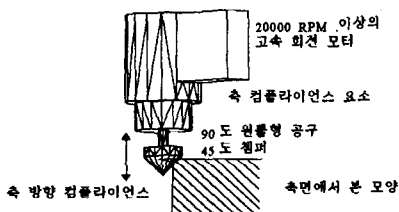
11. 기계 가공 후 평면의 복잡한 모서리의 버 제거



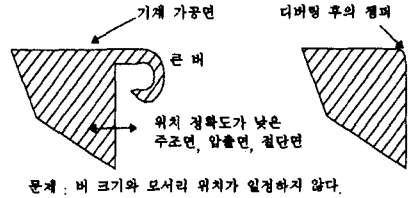
예 : 수륙 펌프, 차량 부품

해결:

(1) 원뿔형 카바이드 공구, 축 방향 컴플라이언스



12. 기계 가공 후, 큰 버의 제거

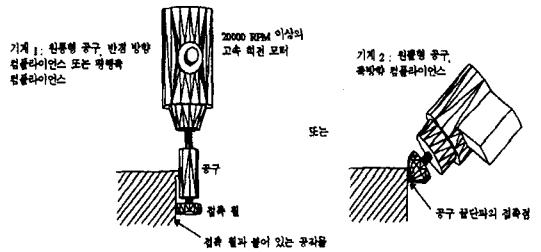


예 : 내화학성, 내부식성의 재질로 된 화학용 펌프 (Chemical pump)

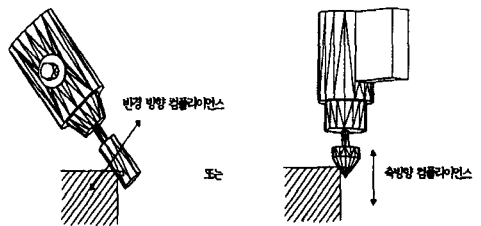
해결:

(1) 반고형 공구

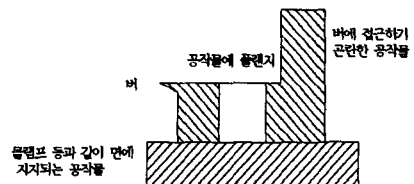
1) 첫째 작업 : 큰 버의 제거, 접촉 휠의 사용



2) 둘째 작업 : 균일한 챔퍼의 생성



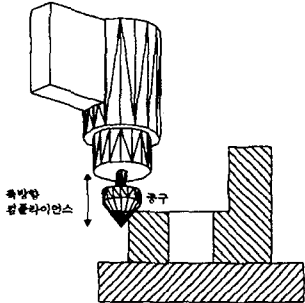
13. 다른 물체에 근접한 모서리의 디버링



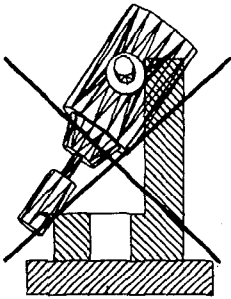
예 : 디젤 엔진

해결

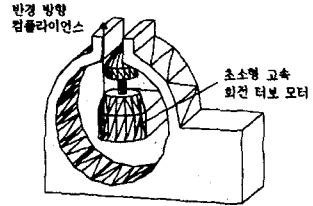
(1) 원통형 공구, 축방향 킴플라이언스



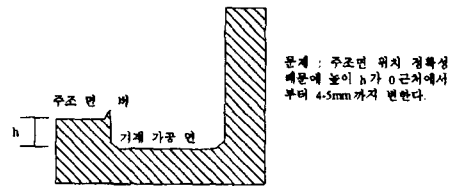
(2) 원통형 공구, 반경 방향 킴플라이언스



(2) 원뿔형 카바이드 공구, 축 방향 킴플라이언스



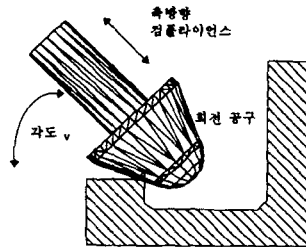
15. 낮은 면에 근접한 모서리 버의 제거



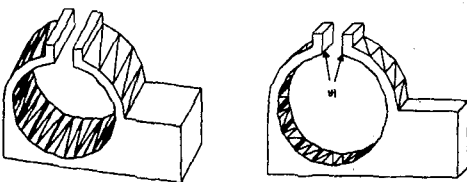
예 : 조항 니클, 등

해결:

(1) 원뿔형 공구, 축방향 킴플라이언스



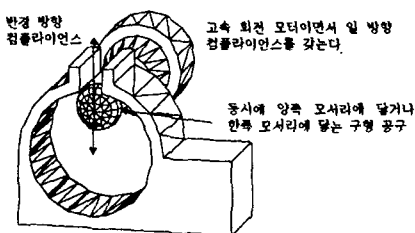
14. 구멍 내부의 두개의 평행한 모서리의 버 제거



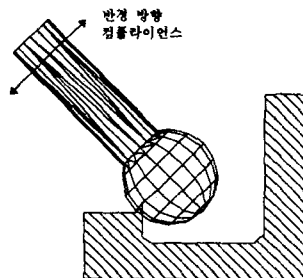
예 : 조항 니클

해결 :

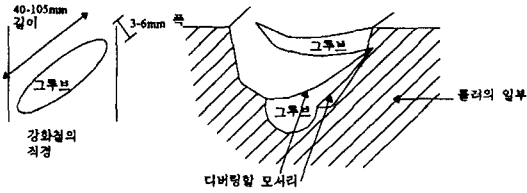
(1) 구형 공구, 반경 방향 킴플라이언스



(2) 구형 공구, 반경 방향 킴플라이언스



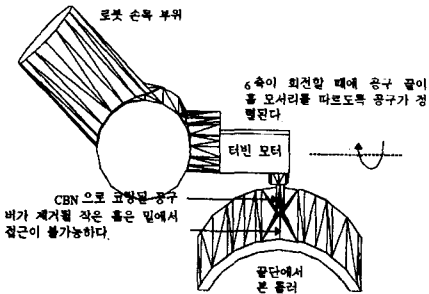
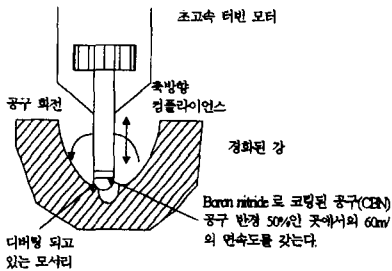
16. 큰 홈 내부의 작은 홈 모서리 주위의 버 제거



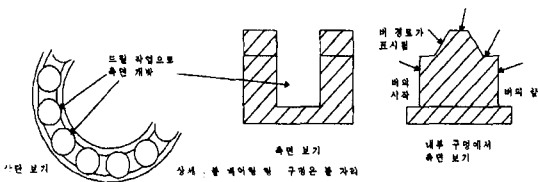
예 : 열간 압연용 몰리

해결 :

(1) 원뿔형 공구, 축방향 킴플라이언스



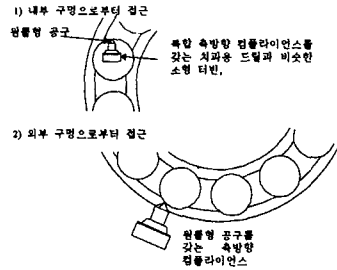
17. 구멍 주위 계단형 모서리의 디버링



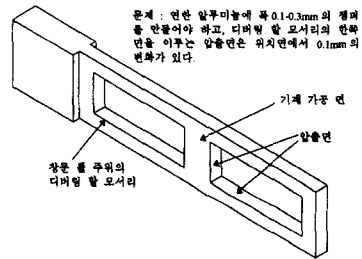
예 : 볼 베어링

해결 :

(1) 소형의 원뿔형 공구, 복합 축방향 킴플라이언스



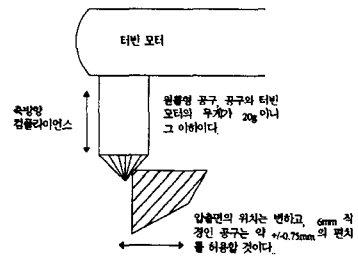
18. 알루미늄 제품의 작은 버의 제거



예 : 정밀한 컴퓨터 부품(디스크 드라이버, 프린터, 등)

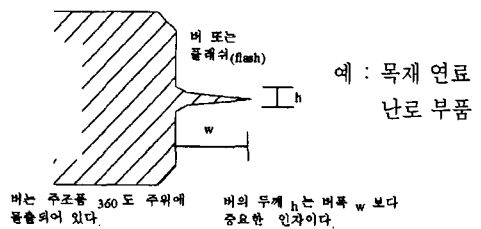
해결 :

(1) 복합 축방향 킴플라이언스를 갖는 공압 터빈



주조품의 디버링

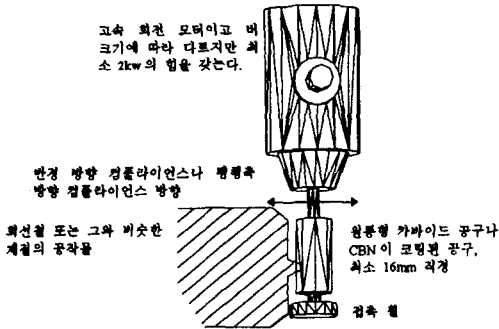
19. 주조품의 플래쉬 제거



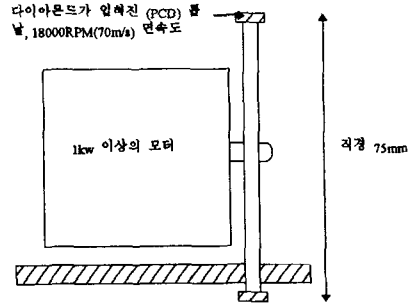
해결 :

(1) 원통형 공구, 평행 축 (Parallel arm)

형태의 반경 방향 킴플라이언스

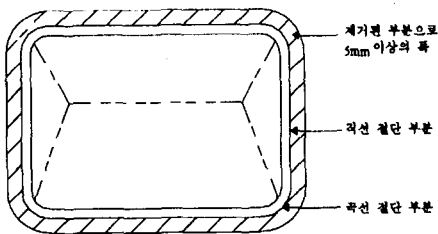


(2) 직선 절단 부분 : 톱날, 고정 공구



강화 플라스틱의 절단

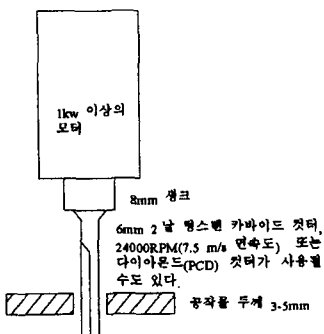
20. 강화 섬유 플라스틱(FRP)에서 직선 곡선 절단



예: 트럭용 스포일러, 조립식 SMC 육조, 위성 안테나

해결:

(1) 곡선 절단, 원통형 회전 고정 공구



6. 폴리머와 다이캐스팅의 절단 및 디버링

6.1 폴리머의 경우

비교적 고강도를 요구하는 플라스틱은 대개 SMC 등의 복합 재료로부터 성형 된다. 이 경우에는 성형 후 절단이나 디버링으로 이차 가공을 하고 잉여부를 제거하여야 한다. 플라스틱 절단의 자동화에는 절삭 저항 때문에 일반적으로 가반 중량 30kg 이상인 로봇이 사용되고 스피들 모터는 0.7KW의 전력과 최대 속도 54,000 RPM인 전기 모터가 보통 사용된다. 공압 모터는 절삭에는 힘이 약하며 회전수가 지나치게 높다. 스피들 모터를 로봇에 장착하는 경우는 가능하면 6축의 연장선 상에 장착하여 가장 약한 6축 부위에 회전 모멘트가 걸리지 않도록 한다. 스피들 홀더는 스피들을 견고하게 지지할 수 있도록 하며 동시에 과도한 조임으로 모터의 베어링을 파손시키지 않는 구조가 필요하다. 대개 접근성을 고려하여 공구의 직경과 길이를 결정하고 재질에 따라 치형을 결정한다. 공작물 고정대는 작업해야 할 공작물의 형상에 따라 맞춤 제작되어야 한다. 절단 시 공작물을 빈틈없고 정확하게 받쳐 주어야 하고 위치 고정도의 반복 정밀도와 가장 큰 자유도 방향의 떨림의 방지를 위하여 충분한 크기의 견고한 지지대가 요구된다.

6.2 다이캐스팅의 경우

다이캐스팅 제품은 버나 플래쉬 등의 위치가 다양하여 마무리 작업을 어렵게 하고 있다. 다이캐스팅의 마무리 작업은 크게 다음과 같이 구분할 수 있다.

-다이캐스팅 부품에서 게이트, 오버플로우, 주형 분할선(Split line) 주위의 버 : 트리밍 프레스(Trimming press)가 적절하다. 로봇을 사용하면, 바닥에 고정된 회

전형 톱에 로봇이 공작물을 쥐고 접근하여 제거한다.

-이형선(Parting line)을 따르는 버 : 버(Burr)가 얇고 작을 경우에 공압 스피들과 회전 공구, 줄(File)이 장착된 공압 왕복운동 공구 (Scaler), 벨트 샌더(Belt Sander) 등을 이용하여 로봇으로 제거한다. 이형선의 버가 두껍고 클 경우의 작업은 공압 스피들과 회전 공구, 정(Chisel, Fig. 12)과 공압 왕복 운동 공구(Scaler)가 장착된 로봇으로 가능하다. 로봇이 주물을 잡고 바닥에 고정된 그라인더나 벨트 샌더를 사용할 수도 있다.

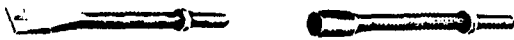


Fig. 12 Flat chisel and blank chisel

7. 결 론

국내의 디버링 연구는 아직 초기 단계에 있다. 현재로서는 기본적인 연구보다 산업체의 요구에 부응하는 실질적인 응용 연구가 더욱 절실한 것으로 보인다. 버를 제거하기 위하여는 첫째 버를 생기지 않도록 하는 설계의 개선이 필요하다. 둘째 이 것이 어려울 때에는 다음 공정 등을 고려하여 버의 생성 방향과 양을 조절하는 설계와 생산의 개선이 필요하다. 디버링 공정의 도입이 불가피할 때는 다양한 방법 중에서 적절한 방법을 선택하여야 한다. 디버링 방법을 전체적으로 조망하려면 다까자와⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 등을 참조할 수 있다. 기계적인 디버링 공정을 자동화하려면 우선적으로 벨트 그라인더나 회전 브러쉬 등의 유연한 공구를 고려한다. 이는 가장 저가이며 생산성이 뛰어나기 때문이다. 제품이 보다 섬세할 때 그리고 정밀하고 우수한 품질이 필요하면 회전 버 공구에 의한 작업을 필요로 한다. 본 논문에서는 로봇에 의한 디버링의 자동화 전반에 대하여 검토하고 그 중 가장 정밀하고 노하우가 필요한 회전 버 공구의 사용에 관하여 집중적으로 논하였다. 그림을 이용하여 도시한 각 경우의 디버링 방법은 실제로 현장에서 검증된 거친 노하우로서 비관련자들에게는 상식적인 듯이 보일 수도 있으나 관련 기술자에게는 시행착오를 줄일 수 있는 귀중한 자료로서 각 경우를 위

하여 시중에서 구할 수 있는 표준 공구의 종류, 컴플라이언스의 방향과 이에 따른 공구 홀더의 개념, 그리고 로봇 프로그래밍 할 때의 경로 등을 제시하여 주고 있다. 산업체를 지원하기 위하여는 이러한 개념적 해를 실제로 실험하고 공작물을 가공할 수 있는 설비의 지원이 시급하다고 보이며 이를 뒷받침할 수 있는 이론의 연구가 후속되어야 하겠다.

참 고 문 헌

1. 고성림, "버 형성 원리의 이해와 적정 버 제거 방법의 선택", 정밀표면가공 및 디버링 기술 워크샵 강연집BEST-K '96), pp.9-32, 1996.
2. Kondo, K., Hirota, K., "Development of a new burr-free shearing process utilizing necking deformation", Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineering Tokyo, JSME Part C, v59, n 567, pp 3579 - 3584, 4 ref, Nov. 1993.
3. Various Technical Reports on Robotic Deburring Systems.
4. 유범상, 양균의, "로봇 디버링 자동화 시스템 개론 및 국내의 현장 사례", 정밀표면가공 및 디버링 기술 워크샵 강연집BEST-K '96), pp. 69-89, 1996.
5. 다까자와, "버 기술의 중요성과 문제점", 기계기술, pp. 74 - 84, 1996, 12.
6. 다까자와, "버 기술의 중요성과 문제점", 기계기술, pp. 158 - 167, 1997, 1.
7. Ali, M. S., Noori, M. N., Turi, J., "Automatic deburring utilizing a real-time impedance control strategy", Computers and Structures, Pergamon Press, Elmsford, NY, v46, n3, pp 561 - 571, 25 ref, Feb 3 1993.
8. Mortensen, A., "Selecting Deburring Tools for Industrial Robots", the Norwegian Institute of Technology, Norway, 1990.