

최근의 버어(Burr)제거 가공과 에지사상(Edge Finishing) 기술

Recent Technology of Deburring & Edge Finishing

金 政 斗*
Kim, Jeong - Du

1. 머리말

생산제품의 품질을 높이기 위하여 제품생산의 최종단계인 마무리 가공이 생산품의 성능에 직접적인 영향을 미치므로 매우 중요한 위치를 차지한다. 이러한 마무리 가공으로서 버어제거와 에지사상 기술은 가공의 고효율화, 자동화, 무인화를 추구하는데 있어서 항상 현장의 문제점으로 지적되는 것이다. 다양한 형상, 치수, 성질을 가진 버어는 그 처리법에 있어서 표준화하는 어려움을 안고 있다. 현재버어 제거의 대부분이 수작업에 의존하고 있으며 가장 자동화가 늦어진 분야이기도 하다. 또한 버어제거와 에지사상 기술은 기계가공분야에서 최근의 가장 중요한 공정으로서 이 가공공정을 마친 부품이 조립등을 통해서 최종 생산품이 제작되므로 생산품의 성능에 직접적으로 영향을 미치는 대단히 중요한 공정인 것이다.

버어 기술에 관한 새로운 용어와 개념은 1974년 미국의 생산분야에서 중요한 역할을 하고 있는 생산공학학회(SME: Society of Manufacturing Engineers)의 한 분과로 탄생하면서 부터이다. 당시에 Bendix사에 근무하던 Mr. Laroux K. Gillespie(현재 Allied Signal Aerospa-

ce Co.)의 제안에 의하여 버어 기술분과가 SME내에 설립되었으며 그 후 BEST(Burr, Edge and Surface Technology Committee)로 발전되었다.

1970년대에는 버어 기술분야가 성장하는 중요한 10년이 되었다. 버어기술 연구분야는 오랫동안 그 중요성에 비하여 산업현장 및 학계에서 소홀히 다루어졌음이 지적되었고, 현장을 중심으로 한 과제들을 중심으로 연구가 이루어지기 시작하였다. 1979년 말까지 SME를 중심으로 버어, 에지 기술에 관한 많은 연구논문과 기술 저서들이 출간되었다.

일본에서는 1980년에 BEST-J가 창립되면서 버어, 에지 및 표면사상의 공정과 관련된 연구 및 기술논문을 출판하기 시작하였으며 버어와 에지 품질에 관한 전문회보지를 발간하여 유용한 정보를 제공하는 등 활발한 활동을 하고 있다. 일본의 학계에서도 학문적인 이론 체계를 세우는 연구를 하고 있고 미국에서도 Dornfeld 교수를 중심으로 버어기술과 관련된 학문적인 연구를 수행하고 있다.

1980년대 이후의 세계적인 연구동향을 살펴보면 버어 기술에 관한 연구와 저작활동이 BEST-J와 ASME를 중심으로 활발히 이루어지고 있으며 로봇에 의한 버어, 에지의 가공기

*機械製作技術士, 工學博士 KAIST機械工學科 教授

술과 버어제거와 에지사상에 대한 새로운 가공법들이 소개되고 표면연마사상장치들의 혁신적인 변화가 이루어 지고 있다.

그동안 미국, 독일등에서 세미나 형식으로 개최되었던 정밀표면사상과 버어 관련기술에 관한 학술모임이 국제학술대회로 발전되어 제1회 국제대회를 1990년 일본 나고야에서 개최하였고, 제2회 대회를 1992년 중국 대련에서, 그리고 제3회 국제학술대회를 금년(1994년 11월 21일~11월 23일) 서울에서 개최하여 한국, 일본, 독일, 미국, 중국, 러시아 등 6개국의 관련학자, 기술자와 필자의 연구 논문 4편을 포함한 48편의 논문이 발표되었으며 버어 기술의 중요성을 학계 및 산업현장에 인식시키고자 하였다.

국내에서는 이와 더불어 버어와 에지사상 분야에 관심을 갖고 있는 산업계 및 학계 관계자들이 모여 BEST-K를 창립하였다. 한국상품이 국제 경쟁력을 갖기 위해서는 무엇보다도 우수한 제품의 생산과 마무리 처리 능력이 절실히 요구된다. 소재기술, 기계가공도 중요하지만 후처리 공정 역시 실가공 이상으로 고도한 기술이 필요하다. 아직도 우리 현장은 일반적인 부품가공정도 항목으로서 재질, 열처리, 형상치수정도

및 표면조도만을 고려할 뿐 표면상태와 에지품질까지는 고려하지 않고 있는 실정이다. 그리고 버어제거와 에지사상기술 분야의 연구와 산업현장에서의 응용이 활발히 이루어지기 위해서는 버어의 생성구조 및 성질과 관련된 사용용어를 통일해야 하며 버어의 측정법 등에 대한 표준화가 이루어 져야 할 것이다. 즉 세계각국은 물론 우리나라에서도 버어 관련 용어가 통일되어 있지 않아 기술발전의 저해요인으로 작용하고 있으며, 기술용어의 통일이 절실하다고 하겠다. 또한 측정방법 역시 표준화가 이루어져야 신뢰성 있는 제품의 생산이 원활히 이루어질 것으로 예상된다. 현재 일반적으로 사용되어 지고 있는 측정법으로는 마이크로미터에 의한 측정법, 표면조도계에 의한 측정법, 스트레인게이지를 이용하는 법, 유체분류법, 공구현미경에 의한 측정법 등이 있다.

현장기술자들에게 있어서는 대상부품의 기능, 버어에 의한 문제점, 요구되는 에지 품질, 버어의 억제, 버어의 제거, 버어제거 원가, 자동화와 연관성 등 버어제거와 에지사상기술에 대한 기초기술 지식의 이해가 요구된다.

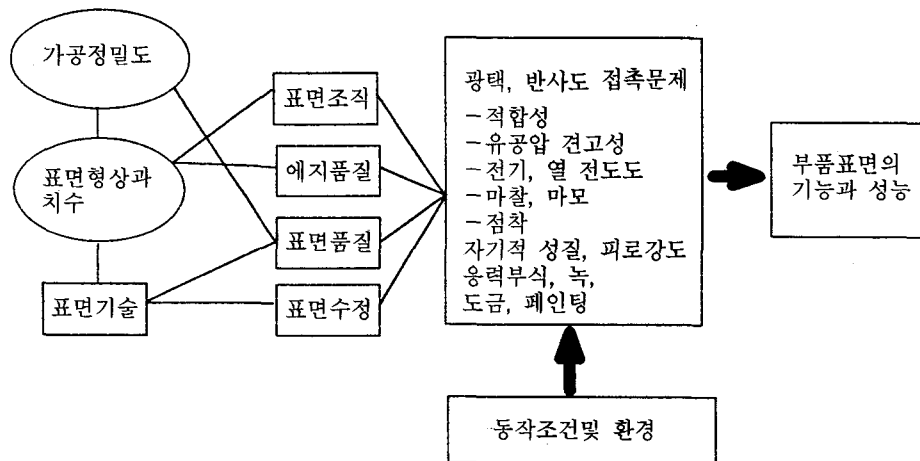


그림 1 정밀설계의 개념

2. 버어제거와 에지사상에서의 문제점

실제 산업현장에서는 버어제거와 관련하여 산적인 문제들이 많이 있으나, 학문적 연구는 아직 부진하며 이 분야의 중요성에 대한 인식마저 미진한 것이 현실이다. 이 분야의 기술을 어떻게 늘려나가며 그 중요성을 산·학·연에서 종사하는 사람들에게 어떻게 인식시키느냐 하는 것이 중요한 해결 과제이며 따라서 우수한 기술자를 교육하고 양성하는 것이 필요하다. 그리고 이 분야의 기술적이고 공학적인 의미를 인식하며, 설계에 있어서 표준을 정하는 것이 절실히 필요하다. 그림 1은 정밀설계의 개념을 나타내고 있는 것으로서 정밀설계의 개념은 최적조건을 추구하는 시스템공학으로서 생산성의 관점에서 제품생산의 문제점을 명확히 할 수 있어야 하므로 국제적으로 통용될 수 있는 표면과 에지 품질의 측정과 평가에 대한 기준과 그림 2에서 설명하고 있는 바와 같이 가공층의 표면구조에 대한 해석과 기준이 시급히 정립되어야 할 것이다. 위와 같은 문제는 매우 복잡한 것으로서 제품분야별로 제품성능에 대한 표면과 에지 점검의 국제적인 협력과 프로그램이 계속적으로 수행되고 개발되어야 할 것이다.

전자공학, 컴퓨터 부품, 자기 헤드, 스텝모터, 정밀 유압 기구, 정밀 스프링, 정밀기어, 세라믹 부품 등과 같은 최근의 각종 첨단 산업분야들에 있어서 버어와 관련한 문제점들이 나타나므로 표면과 에지 품질의 제어 기술이야말로 첨단기술(high technology)을 쥐고 있는 가장 중요한 열쇠인 것이다. 뿐만 아니라 주조품, 단조품, 자동차부품, 전기 부품, 일반 기계 부품 등과 같은 기존의 제품들에 대한 대책도 매우 중요하다. 버어 제어의 특성을 고려할 때, 생산과 공정의 설계는 매우 중요하며 또한 버어제거 기술은 난삭재인 새로운 신소재에도 적용이 될 수 있어야만 한다. 제품의 설계에서 생산, 판매에 이르는 종합품질 관리(TQC)나 컴퓨터통합생산(CIM)

시스템에서 표면과 에지의 품질은 가장 항목으로 인식되어야 하며, 따라서 부품의 궁극적인 성능을 만족할 수 있는 새롭고 효율적인 기술이 개발되어야 하며 더욱 경제적이고 효율적인 기술의 발달과 함께 유연생산시스템(FMS)에서의 자동화 기술 또한 추구되어야 할 것이다.

에지 품질의 의미와 그 중요성을 살펴 보면 다음과 같다. 표준가공면 또는 측정면이 버어의 존재로 잘못 설정될 수 있으며 최종 가공된 부품조립의 용이성은 특히 자동차 산업에서 에지의 품질에 달려 있으므로 그 중요성은 매우 크다 하겠다. 생산공정에서 부품들이 서로 상대운동을 하면서 이동할 때 점착과 스틱(Stick)에 의한 마찰과 마멸은 에지의 품질에 영향을 받으며 더욱이 이러한 현상은 소음과 진동마저 유발할 수 있어서 생산공정에 치명적인 나쁜 영향을 미칠 수가 있다. 또한 에지품질은 스프링과 고압축을 받는 요소의 피로한계에 영향을 미치며 버어가 있는 스프링이 마무리 사상이 되어 있는 스프링과 비교하였을 때 피로한계가 절반 이하인 것으로 알려져 있다. 가공공구와 자기헤드 등과 같은 제품의 성능저하는 경취재료의 칩핑(Chipping) 때문이며 날카로운 에지나 버어는 사람에게 해를 끼칠 수 있으며 날카로운 에지때문에 전기적 쇼트 등 예상치 못한 결과가 발생할 수도 있다. 그리고 열처리를 하는 동안에 에지 크랙은 인장응력의 원인이 되며 공유압 시스템에서 품질이 떨어지는 에지는 공압이나 유압의 누수 현상의 원인이 되기도 하는 등 이상에서 살펴본 바와 같이 에지의 품질이 생산 현장 곳곳에서 큰 영향을 미치는 아주 중요한 인자임을 알 수 있다.

3. 버어와 디버링을 위한 공정제어

버어문제를 해결하거나 개선하고 최적화하는 첫번째 단계는 그러한 문제가 과연 존재하며 개

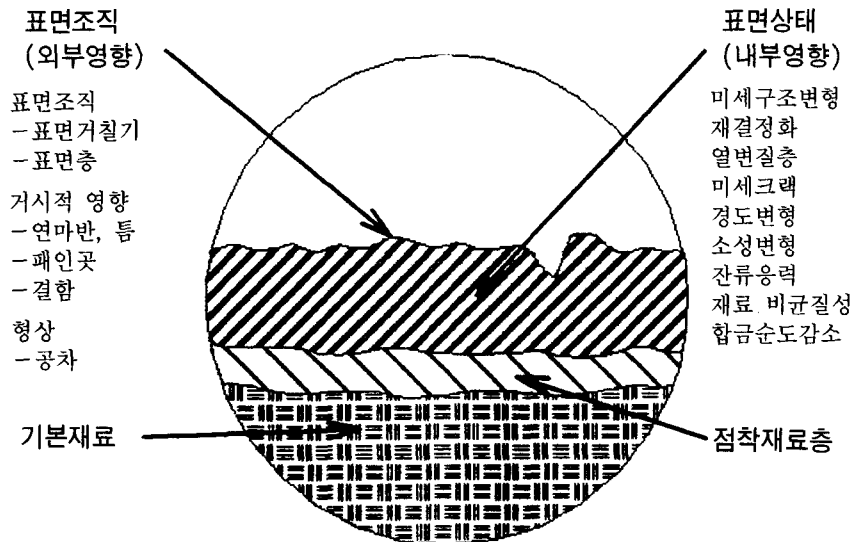


그림 2 가공층의 표면구조

선택이 필요로 하느냐 하는 것으로 과연 버어는 정말로 해결되어야 하는 문제인가?

이와 같이 버어문제를 해결하는데 있어서 제1법칙은 무엇이 표준이며 제시된 표준이 과연 실제적인 요구를 만족하며 모든 이들이 그 표준에 동의할 수 있는 합리적이고 신뢰성 있는 표준인가 하는 것이다.

신뢰성 있고 합리적인 표준안을 마련하려는 시도가 최근에 이루어지고 있다. Ohmori와 La-Roux의 연구는 수많은 용어들을 통찰력 있게 정리하고 있으며 합리적으로 이해될 수 있는 버어와 관련된 국제적인 표준의 사용과 그 필요성을 제안하고 있다. 버어를 제어하기 위해서는 버어의 각 요소들의 특성화, 개선 및 제어 등의 용어에 관한 국제적인 합의가 필요하다.

지난 십년 동안 세계의 산업체에서는 생산공정을 특성화하고 이해하며 제어하는데 수많은 노력을 경주해 왔다. 그 결과 생산원가를 절감하며 품질을 향상시키고 제품의 사이클 시간을 단축하기에 이르렀다. 이와 같은 기계 가공, 도

색, 조립, 검사, 측정 등에 대한 노력에도 불구하고 버어의 제거와 방지에 대해서는 인식이 제대로 이루어 지지 않았던 것이 산업계 및 학계에서의 현실이다. 최근버어의 생성에 관한 학문적인 연구가 미국 U.C. Berkeley 대학의 Dornfeld 교수 그룹에 의해서 이루어지고 있으며 BEST-J에서도 이와 관련된 과학적 연구물들을 출판하고 있다.

대부분의 산업체에서는 버어 문제의 지표로서 버어의 높이를 고려하고 있다. 여러 연구에 의해 지적되고 있는 바와 같이 많은 분야에서 버어의 두께가 더욱 중요한 인자로 밝혀지고 있으며 질삭 변수의 함수로 버어의 크기를 나타내는 연구도 이루어지고 있다.

버어제거감소의 문제는 크게 버어의 크기를 감소시키는 일과 디버링 가공비를 감소시키는 것으로 구분할 수 있다. 작은 버어는 몇번의 가공공정을 거쳐서 쉽게 제거될 수 있으며 제품에도 손상을 주지 않을 수 있다. 한 예로 엔드밀 가공에 의해 생성되는 버어의 제거와 특성에 대

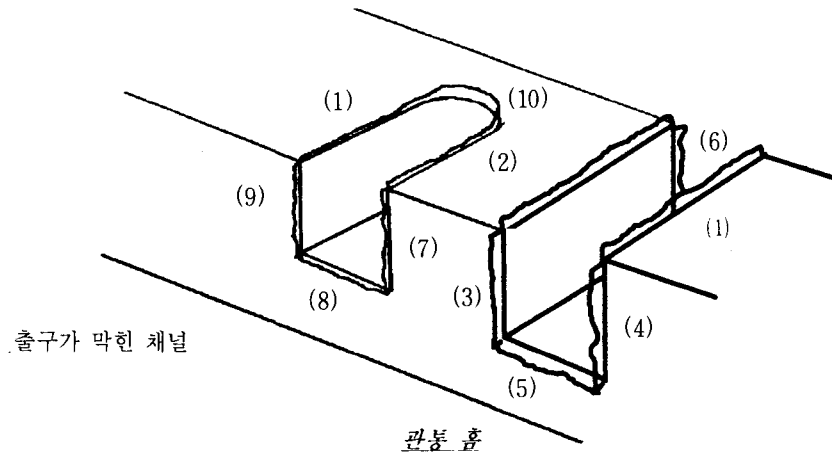


그림3 홈밀링시 버어 위치의 검증

한 연구가 있었으며 공정 특성화(Process Characterization), 측정 특성화 (Metrology Characterization), 공정능력(Process Capability), 최적화(Optimization), 제어(Control)와 같은 5단계 방법을 이용하였다. 버어의 정보에 관하여 가장 큰 요구사항을 특성화 하는 가장 좋은 방법은 모든 기계와 관련된 모든 정보를 나열하는 것이다.

그림 3은 엔드밀 가공에서 버어가 어떻게 생성되는지를 보여 주는 그림이다. 그림에서 보는 것처럼 10개의 구분되는 에지가 존재하므로 어떤 에지에서 버어가 생성되며 우리가 어떻게 제거해야 하는 것인가를 결정하여야 하지만 그렇지 않은 경우는 1,2,3,7번의 에지가 고려하여야 하는 에지일 것이다.

버어의 특성은 모두 다 측정이 용이하지 않고 종종 많은 시간과 노력을 요하게 된다. 예를 들어 경도의 측정은 특별한 경도시험기를 이용하여야 하며 더욱 측정을 어렵게 하는 것은 버어가 일관성이 없다는 사실이다. 그러므로 어떻게 하면 버어를 정확하게 측정할 수 있느냐 하는

것이 대단히 중요한 요소로서 측정가능한 영역과 장비를 적절히 선택하는 것이 필요하다. 그림 4는 버어 경도의 측정위치와 버어의 기본 특성을 정의한 것이다.

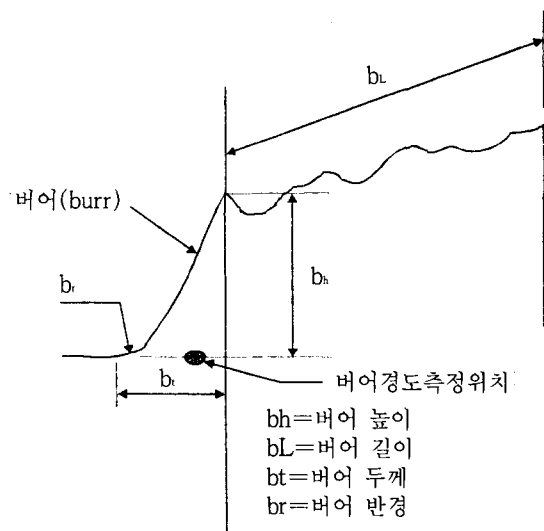


그림 4 버어 특성의 정의

4. 버어는 어떻게 생성되는가?

일반적으로 알려진 바와 같이 현장에서 전체 가공시간의 40% 이상을 소요하는 것이 드릴가공이며 따라서 드릴가공에서 생성되는 버어로 인하여 전체 생산율이 저하되어 생산원가가 올라가며 제품의 품질이 떨어지고 산업재해가 발생하는 등 각종 문제점이 유발되고 있다. 드릴의 형상과 드릴가공 메카니즘이 매우 복잡하므로 드릴가공에서 버어생성 기구 역시 매우 복잡하게 나타난다. 드릴가공에서는 입구와 출구에서 버어의 생성이 다르게 나타난다.

출구쪽에서의 버어생성 과정을 보면 그림 5와 같다. 먼저 C단계에서처럼 제1차 원추형 칩이 발생하고 그 다음 제2차 원추형 칩과 찢어진 듯한 버어가 형성된다. 그리고 제일 마지막 단계에서 꽃무늬 모양의 버어가 생성된다. 그리고 그림6은 드릴가공에서 입구쪽으로 버어 생성 과정을 나타내는 그림이다.

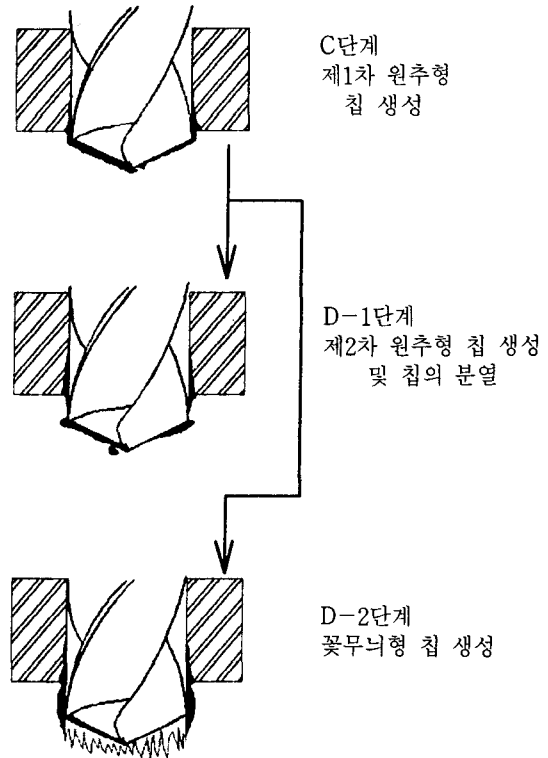
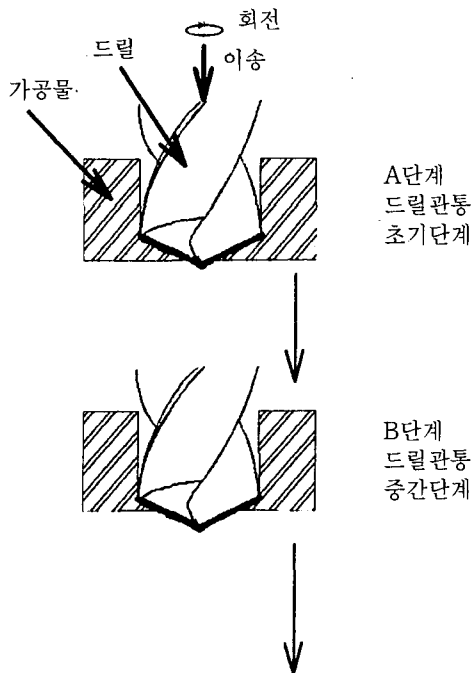


그림 5 드릴가공시 출구에서의 칩 생성과정



이차원 절삭에서 버어의 생성에 관한 모델이 제시되고 있으며 기본 가정은 그림7에서 보는 것처럼 과도점(transient point)인 A점에서 칩 생성에 소비되는 일이 모두 버어의 생성에 이용된다는 것이며 이 A점에서 칩의 생성이 정지되고 버어의 생성이 시작된다는 것이다. 버어의 생성은 초기 음의 전단각(initial negative shear angle) β_0 와 초기공구거리 ω 로 특성화 할 수 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 버어의 생성이 시작되면 변형이 일어나는 동안 소성회전점(plastic hinge point)인 B가 고정되어야 한다는 기하학적인 제한에 따라 버어가 진행된다. 출구각이 90°일 때는 재료의 종류와 절삭조건에 상관없이 음의 전단각 β_0 가 거의 대부분 20°인 흥미로운 사실이 여러 연구자들의 실험결과에 의해 관찰되었으며 초기공구거리는 정상상

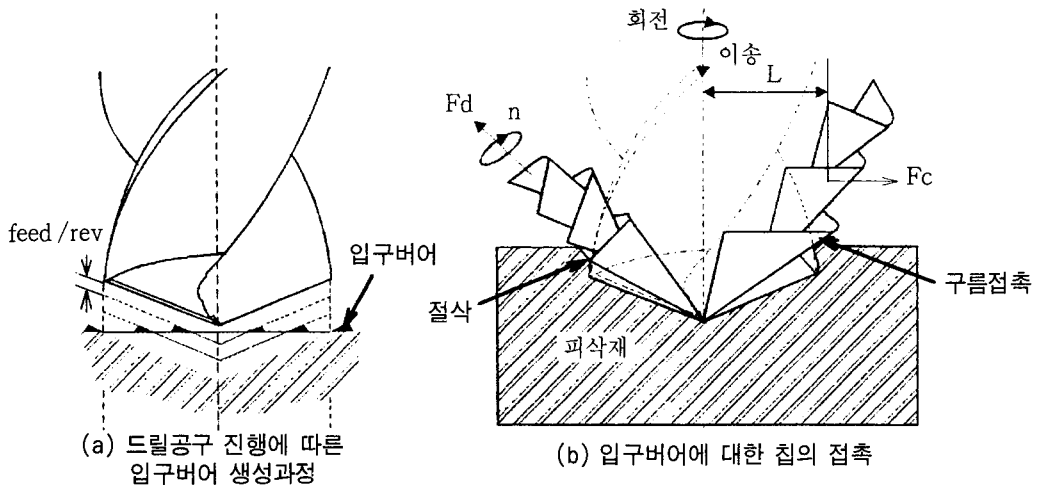


그림 6 드릴가공시 입구에서의 버어 생성 과정

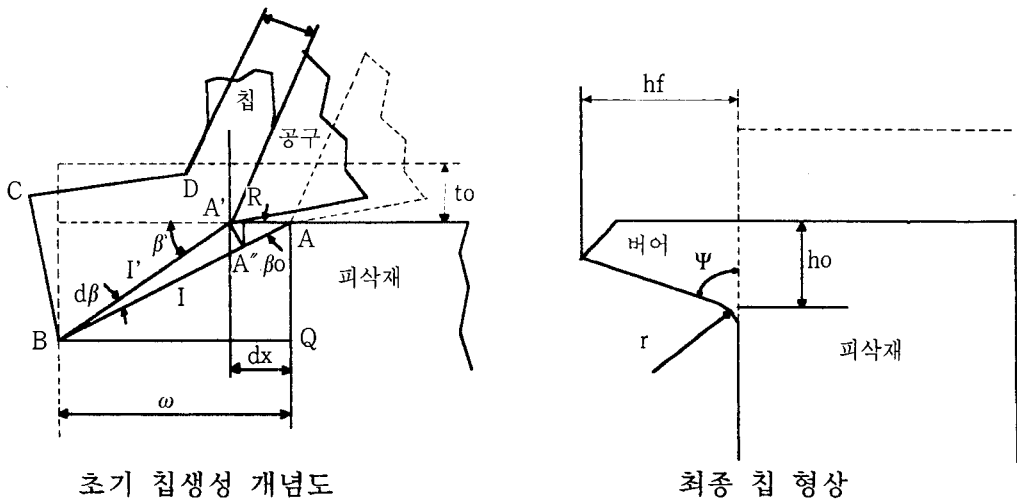


그림 7 칩 생성과정 개념도

태의 칩생성 에너지를 버어생성으로 전환하면 해석적으로 구할 수가 있다.

초기공구거리 ω 는 칩생성과정시에 측정되는 절삭력의 함수로도 나타낼 수 있다.

여러 연구의 실험결과와 칩생성에 요소되는 에너지가 과도점에서 모두 버어의 생성으로 전환 된다는 모델결과를 비교하여 초기 버어생성

이 지난 뒤에도 연속적인 칩의 생성이 이루어져 항상 일치하지는 않는다는 것이 밝혀 졌다. 그리고 인장시험에서 파괴응력(fracture strain)을 나타내는 재료의 연성이 버어 생성으로 전환되는 에너지의 비를 좌우함이 밝혀 졌으며 이 에너지 전환비는 모델에서 예측되는 초기공구거리와 측정값으로 구할 수 있으므로 초기공구거리

를 실험결과를 이용하여 계속해서 개선할 수가 있다.

이상과 같이 해석적으로 초기공구거리를 예측할 수 있고 실험을 통하여 모델을 더욱 정확하게 개선할 수 있으며, 계속해서 3차원 절삭에서의 버어의 생성에 관한 모델도 제안되고 있다.

5. 정밀 부품의 지능 디버링

정밀한 부품을 제조하기 위하여는 필수적으로 버어 제거와 마무리 공정이 대단히 중요하다. 버어제거 작업의 난이도와 가공비에 영향을 주는 버어의 형상에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며 생산공정 변수와 공구의 형상을 변화시켜서 버어의 크기를 감소시키는 노력도 행해지고 있다. 생산공정계획의 변경을 통하여 버어의 크기를 감소시키려는 노력도 행해지고 있다. 생산공정계획의 변경을 통하여 버어의 크기를 줄이기 위하여는 버어의 생성과정이 먼저 명확히 밝혀져야 한다. 그래서, 이 방면에 대한 세밀한 연구가 행해지고 있다. 그리고 초기 설계와 데이터베이스화 연구를 통하여서 밝혀진 사실은 그동안 디버링 공정이 생산 설계 또는 제조공정 설계사이클에 통합되어져 있지 않고 단지 초기가공공정의 필연적인 부산물로서만 취급되어져 왔다는 것이다. 버어 생성 모델링에 대한 연구 결과로 어떤 경우에는 적절한 부품의 형상과 소재, 공구 형상, 절삭 변수의 선택을 통하여 버어의 크기를 감소시키며 버어의 형상을 변화시킬 수 있다는 것이 밝혀졌다. 최적의 설계와 공정 계획의 선택을 통하여 버어의 크기를 감소시킬 수 있다면 더욱 경제적이고 정확한 버어제거가 가능하며 버어의 제거가 불가능하다면 제품의 설계변경을 통하여서 버어의 위치를 중요하지 않은 곳으로 옮기는 것도 가능하다.

이와 같은 관점에서 Dornfeld 교수는 버어의 특성과 생성을 버어 생성 모델을 기초로 하여

CAD기초 전문가시스템(CAD-based expert system)에 데이터베이스를 결합하여 설계자 또는 생산공정설계자가 제품의 최종 마무리 요구사항을 만족하는 설계가 가능하도록 하였다. CAD기초 전문가 시스템은 기계가공공정과 센서지능화 디버링 모듈과 결합되어 있으며 부품의 형상과 예상되는 버어의 크기 정보는 자동버어제거 공정의 계획에 이용되고, 실시간 센서정보는 버어 생성모델과 데이터 베이스를 갱신하고 확장하는 학습전략에 이용되도록 하였다.

앞에서도 언급하였듯이 버어제거 공정이 아직 제품설계 또는 제조공정 설계사이클에 통합되어 있지 않으므로 디버링 공정으로 인하여 생산원가의 증가를 가져온다. 여기서 제안된 전략은 제품설계단계, 센서피드백루프, 버어 생성모델, 실험과 경험 등 모든 정보를 완전히 이용하도록 되어 있다. 임의의 주어진 부품의 설계, 생산, 마무리 공정의 주기는 데이터베이스와 전문가 소프트웨어의 설계를 통하여 통합된다. 지능 버어 예측시스템의 목표는 여러 생산공정계획에서도 이용될 수 있는 유연한 소프트웨어 기본틀을 생성하는 것이다. 이 경우 생산공정은 기계가공, 부품 마무리 가공, 센서피드백을 포함하며 세가지의 순환루프가 전체 제품설계를 구성하도록 되어 있다. 이러한 세가지 루프는 그림8에서 나타낸 바와 같이 버어생성모델루프, 생산공정설계루프, 감지 및 제어루프로 구성되어 있다. 버어생성모델루프는 산업현장에서의 경험에 바탕을 둔 법칙과 시험에서 유도되어진 버어생성관련식과 해석적 모델로 이루어져 있다. 감지제어루프를 통하여서는 이 모델에 관련된 데이터들이 계속해서 실시간으로 갱신이 되어 모델의 신뢰성을 높이도록 하였으며 공정설계루프는 CAD기초 설계도구를 이용하도록 되어 있다. 감지제어루프는 버어의 위치와 측정을 위하여 비전시스템과 음향(Acoustic Emission) 센서, 힘 또는 토오크 센서로 꾸며져 있다. 생산공정설계와 순서가 결정되면 버어최소화 모듈(Burr Mi-

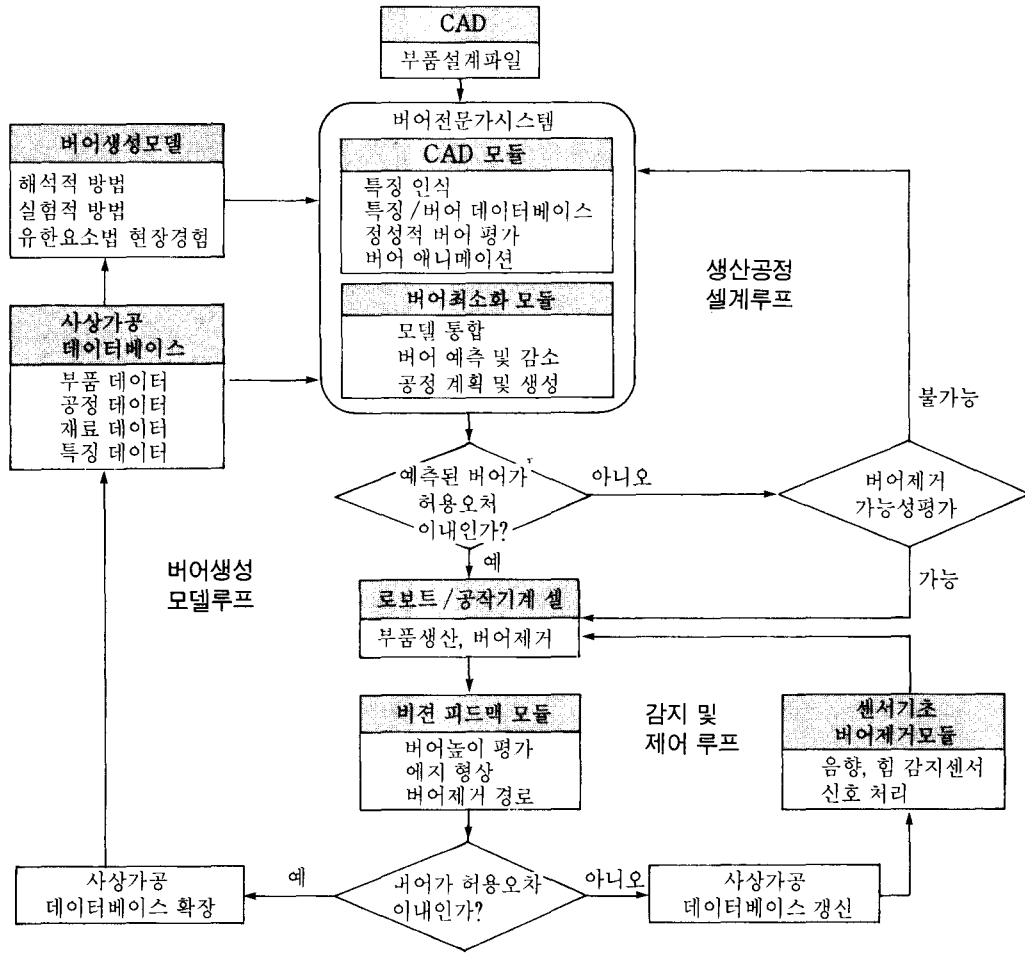


그림 8 지능 버어제거 시스템 구성도

nimization Module)에서는 버어의 크기와 두께를 최소화하고 버어특성의 결과를 예측하도록 가공공정변수를 최적화 한다. 최적화는 버어생성모델의 유한요소해석과 실험 및 경험에 기초한 식, 퍼지이론을 통하여서 구현하였다.

6. 버어제거 가공을 위한 응용방법

6.1 자기입자가공에 의한 버어제거가공

자기입자가공이란 가공영역에 자기장을 가하

여서 자기입자의 운동으로 기계가공의 공차를 제거하는 표면마무리 가공법으로서 여러가지 다른 입자 가공공구가 사용될 수 있으나 거의 대부분의 경우 분말자기입자가 사용되어진다. 이 가공법의 장점중의 하나는 가공압력이 전류에 의해 발생되고 그 크기는 입력전류에 의해 발생되고 크기도 입력전류의 크기에 의해 조절이 가능하기 때문에 가공공정을 제어하기가 용이하고 자동화에도 응용이 가능하다는 것이다. 또한 기존의 가공법으로는 불가능한 곡관 또는 길이가

긴 관의 내, 외면 다듬질에 적용이 가능한 것이 실험적으로 증명되었다. 자기입자가공에서는 피삭재가 자기극성과의 상대운동속도에 비례하는 주파수로 자화된다. 이러한 자화는 회오리전류(Eddy Current)의 증가와 피삭재내부의 인장응력의 원인이 되며 피삭재는 전기적으로 충전이 되어서 전해가공 등이 가공영역을 활성화 시킬 수 있게 된다. 가공표면의 소성변형특성, 구조 등의 변화에 대하여 자기장의 역할은 절삭력의 크기와 방향을 바꾸는 것이다. 공구로서의 자기입자의 강성은 자기장의 밀도의 함수이다. Russia의 Baron교수는 정밀표면사상과 버어제거에 자기입자가공의 유용성을 보이기 위하여 다른 공정과 자기입자가공과 비교 실험을 하였다. 연삭가공과 비교한 결과 자기입자가공한 금속표면은 경도, 내마멸성, 마찰구름에 대한 인성 등이 증가한 것으로 나타났다.

6.2 전해자기연마가공에 의한 버어제거가공

일반적으로 전해자기연마 가공법은 크게 3가지 원리로 가공이 이루어지는데 첫번째는 중성 전해액을 사용하여 전해작용으로 금속피막이 형성되는 전해가공이며 둘째는 연마재 입자에 의한 제거가공이며 세째는 이온의 운동을 복잡하게 하여 이온의 운동거리를 증가시키는 로렌츠 힘(Lorentz Force)이다. 전해연마의 특성은 가공물을 양극으로 하여 산화작용이 일어나며 공작물의 기계적 성질과 관계없이 가공량이 결정되므로 고강도 재료의 재료 제거율을 크게 할 수 있고 전해액이 냉각작용을 하는 효과가 있는 반면에 전해액의 처리가 용이하지 않으며 가공물이 반드시 자성체이어야 하는 제한이 있다. 그림9는 전해연마가공의 원리를 나타내는 그림으로서 가공물에 (+)전원을 연결하고 공구에

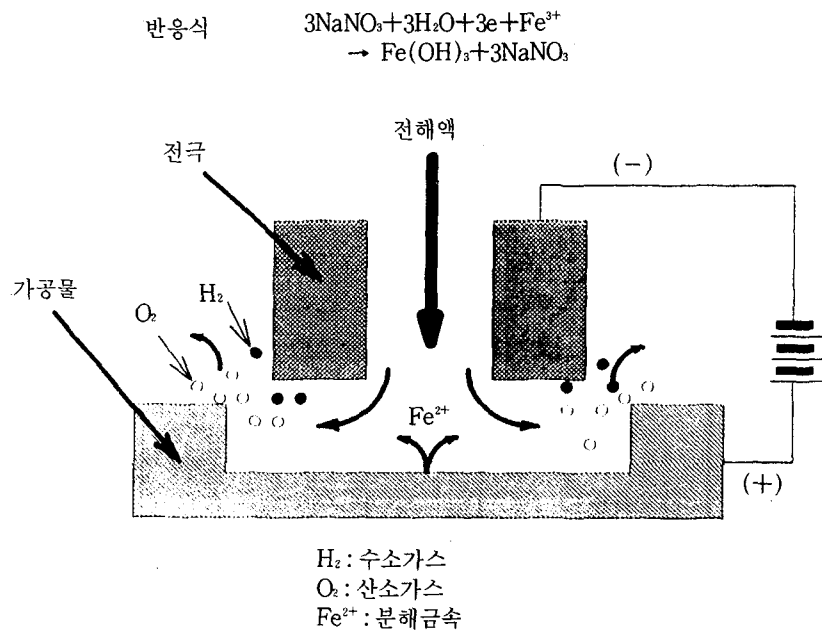


그림 9 전해 연마 가공의 원리

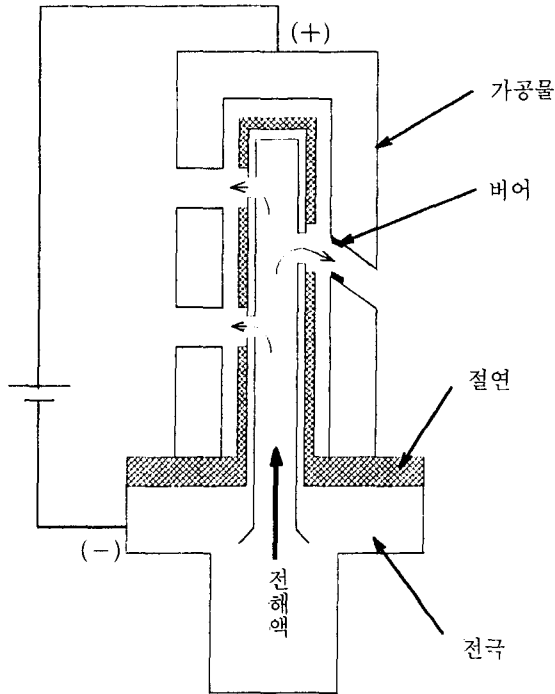


그림 10 전해 버어제거 시스템의 전극 구조

(-)전원을 연결하면 가공물의 표면에서 전해반응이 일어나 산화피막을 형성하면서 가공이 이루어진다. 최근 이러한 전해가공의 원리를 이용하여 각종 기계부품의 깊고 좁은 구멍에서 발생하는 버어를 제거하려는 시도가 이루어지고 있다. 그림 10은 전해버어제거 시스템의 한 예로서 공구를 특별히 제작하여 절연물을 이용하여 버어가 존재하는 곳에서만 전해가공이 이루어지도록 하여 가공물 구멍의 버어 문제를 해결하였다.

그리고, 비자성체도 가공할 수 있는 시스템이 전해자기복합 점탄성 연마가공 시스템으로 점탄성연마포에 연마입자를 부착하여 가공하며 가공압력은 스프링으로 조절하도록 되어 있다. 그러므로 재료가 자성체이든 비자성체이든 상관없이 가공이 가능하며 연마제가 유리입자(free particle)이므로 공구의 형상은 제약을 받는다. 가

공압력의 증가로 형상정밀도의 개선이 가능하다. 단순한 연마가공법은 가공물이 자성체이어야 하며 정밀연삭으로 전가공한 2.2-2.5Rmax. 표면이 3분후 0.2-0.5Rmax.가 되었고 30~40 μ m의 버어는 3분후 제거가 가능하였으며 전해자기연마 가공법은 자성체이며 고강도, 고인성재료인 고강도강, 크롬강 등에 적용할 수 있는 방법이며, 50~60 μ m의 버가 3분후에 제거가 가능하였다. 그리고 전해자기 점탄성 연마법은 가공물이 금속이든 비금속이든 적용이 가능하며 5~6Rmax. 정도의 경면을 쉽게 얻을 수 있으며, 100 μ m 크기의 버어제거가 가능하였다.

6.3 초음파 마이크로 버어제거의 응용

초음파가 액체속으로 전달되면 미세기포가 생성되며 이러한 미세기포는 아주 강한 힘을 만들어 낸다. 이렇게 초음파로 생성된 기포를 캐비티(cavity)라고 부른다. 1/1,000,000초의 고속 카메라로 촬영한 결과 캐비티는 하나로 이루어져 있는 것이 아니라 더욱더 작은 미세 기포들이 결합되어 이루어져 액체속에서 압력이 증가하면 미세캐비티의 핵이 생성되며 이렇게 생성된 수많은 핵들이 미세 캐비티로 발전된다는 것이 증명되었다. 그리고 이것은 곧이어 초음파에 의해 압력이 줄어들며 미세 캐비티들이 초고속으로 가속이 되어 팽창이 되는데 이 때 미세 버어제거가 가능하다. 또한 압력이 증가하면 다시 미세 캐비티들이 수축을 하며 이러한 과정의 반복으로 생성되는 에너지로 미세기포들이 금속재료 주변에서 디버링을 할 수 있다. 기포의 형상은 액체에 용해된 산소의 양과 관련이 있으며 그 양이 많을수록 기포는 불안정해진다. 청정액으로는 물, 준수용액(semiaqueous agent), 알코올(alcohol), 탄화수소용매(hydrocarbon solvent), 불연성유기용매(non-flammable organic solvent) 등을 사용한다.

6.4 워터제트 가공에 의한 버어제거

버어는 가공재료와 가공방법에 따라서 다양한 형태를 가진다. 그래서 버어의 제거는 자동화가 어려운 이유로 대부분 수작업에 의존하고 있다. 그러나 고압워터제트로 디버링의 자동화가 가능하다. 워터제트 버어제거가공은 불안정한 돌출부를 고속유체를 이용하여 제거하는 원리, 워터제트의 충격력을 이용하여 절단하는 원리, 입자 분사에 의한 체적제거, 기포에 의한 분열작용으

로 이루어져 있다. 최근 실제 산업현장에서 50~100MPa의 워터제트 버어제거 가공기계가 생산공정에 적용되고 있으며, 큰 효과를 얻고 있다. 워터제트 가공에 의한 버어제거법은 생산되는 각 공정의 지연을 방지하며 계획한 고품위의 제품을 연속적으로 계속해서 생산하는 것이 가능하다. 버어제거에 워터제트를 이용할 시 70MPa의 워터제트는 알루미늄합금의 표면에 기포를 생성 시키므로 알루미늄의 미세 버어가 제거된다. 마멸된 공구로 알루미늄합금을 가공

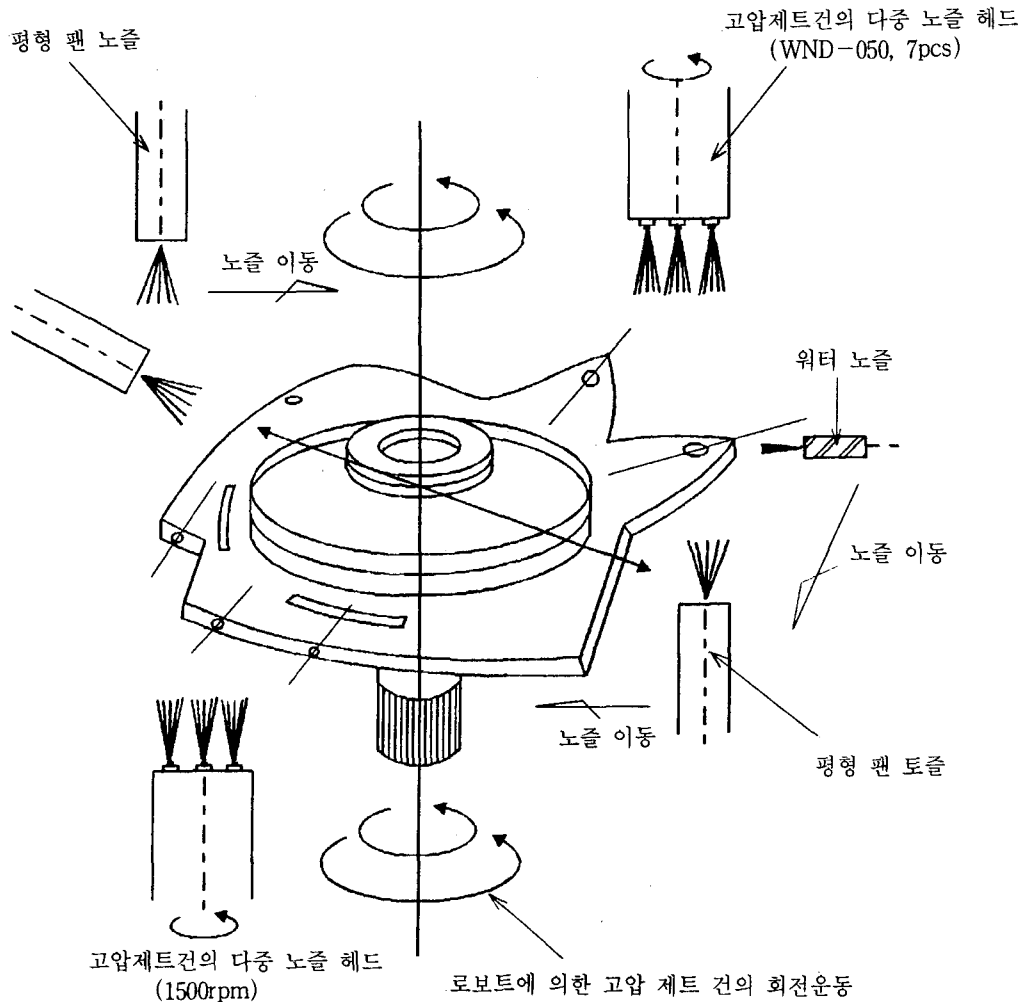


그림11 오일 펌프 커버의 고압워터제트 버어제거가공

하며 에지가 소성변형을 일으키고 버어가 생성
이 되므로 워터젯을 이용하여 버어를 제거하
여야 한다. 예를 들어 크랭크주축, 실린더헤드,

실린더블록과 같이 교차구멍(cross hole)을 가
진 자동차 부품이나 밸브몸체, 오일펌프, 하우징
오일펌프등의 변속기 부품, 그리고 브레이크 부

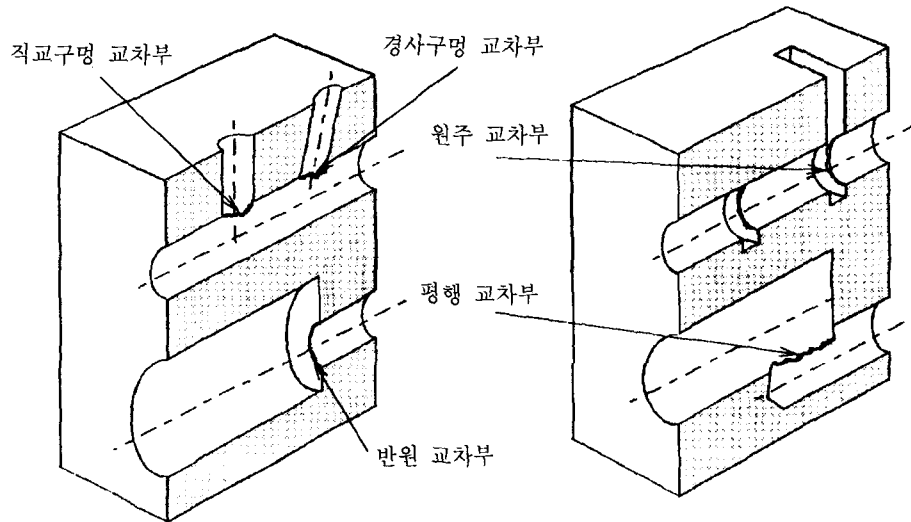


그림 12 자동차 변속 제어밸브 구멍의 버어 생성 위치

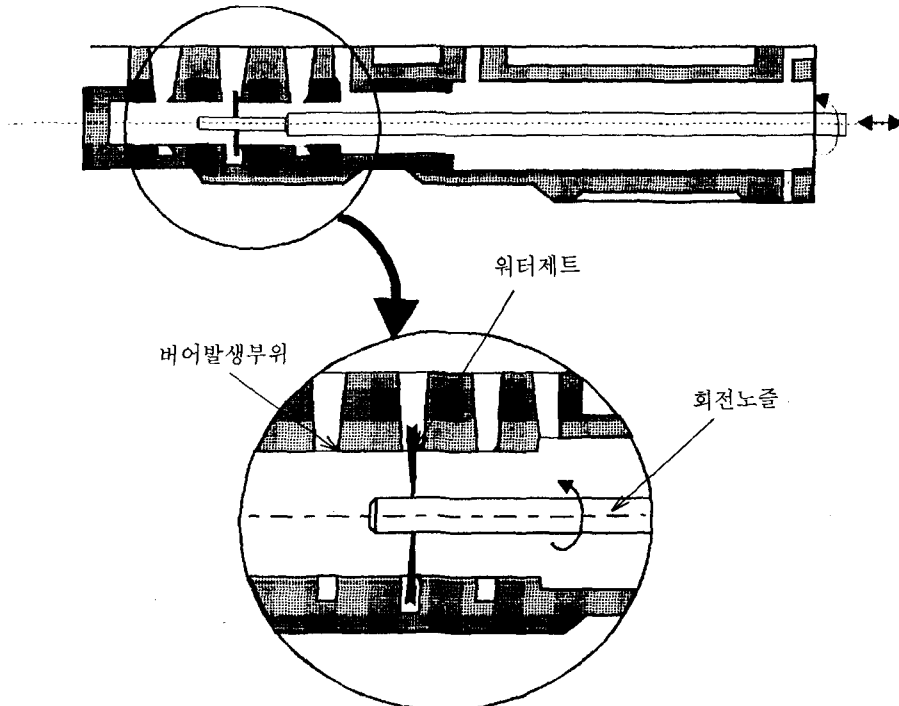


그림 13 자동차 변속 제어 밸브 고압회전 워터젯 버어제거 시스템

품등이 워터제트에 의하여 버어제거 가공이 가능하다. 워터제트 버어제거 가공기계는 정밀하게 설계되었으며 워터제트가 버어를 제거할 제품에 손상을 줄 수 있으므로 기계의 노즐은 항상 CNC공작기계나 로봇과 결합하여 움직이도록 하였다. 그림11은 오일 펌프 커버의 고압워터제트에 의한 버어제거 가공을 나타낸 것이다.

자동차변속제어밸브의 작고 깊은 구멍의 버어 제거는 매우 어려운 가공이다. 따라서 기존의 방법으로 버어를 제거하면 신뢰성 있고 일관성 있는 버어제거 품질을 얻기가 매우 힘들다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 고압회전워터제트 버어제거시스템(High Pressure Rotating Waterjet Deburring System)이 제안되고 있다. 여기서 회전노즐을 구멍으로 삽입하여 노즐의 전

면에 부착된 오리피스로부터 반경방향으로 고압의 워터제트를 내뿜는다. 이렇게 가까운 버어를 워터제트를 이용하여 제거함으로써 뛰어난 버어제거 성능을 얻을 수 있었다. 이 시스템에는 노즐의 구멍의 막힘을 찾아내는 센서가 부착되어 있어서 그 신뢰성을 더하고 있다.

그림12는 자동차변속 제어밸브 구멍에서 생기는 각종 버어의 형태를 보여 주며 그림 13은 이 제어밸브의 버어를 제거하는 회전형 워터제트 시스템을 나타낸다.

7. 버어방지를 위한 정략적평가방법

버어방지 정략적 평가방법이란 버어의 방지가 제대로 이루어졌는지 확인하는 지표이다. 즉 만

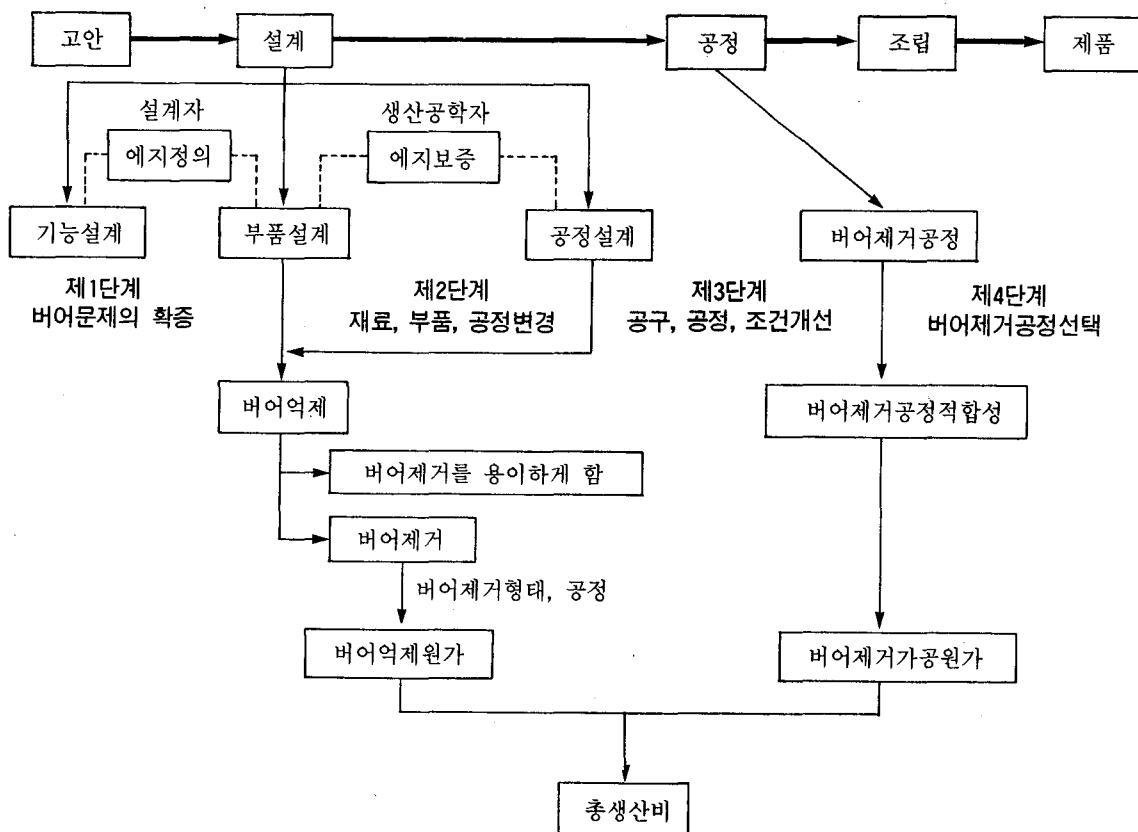


그림 14 버어제거 설계 흐름도

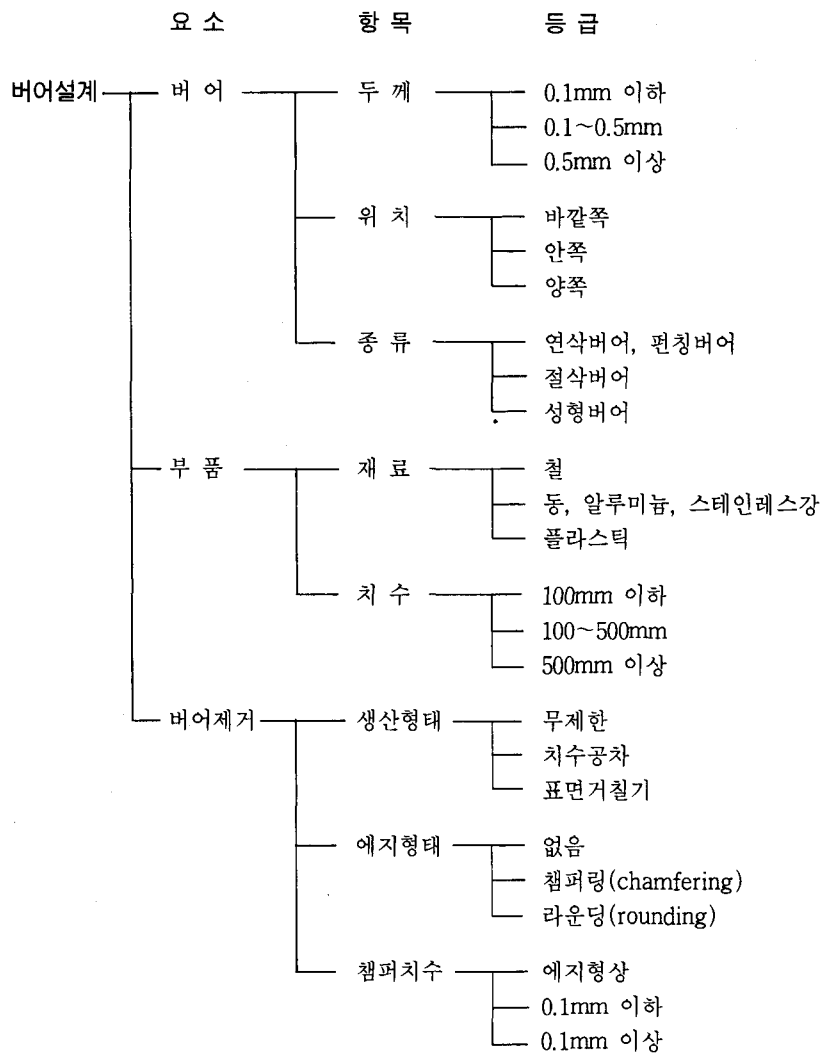


그림 15 버어 설계의 정량적 평가 방법

약 평가점수가 70~100사이이면 버어 방지가 충분히 이루어 졌음을 의미하며 따라서 버어제거 가공을 적용하여도 된다는 것이며 만약 평가점수가 30~69사이이면 재료, 공구, 가공조건등에 있어서 개선책이 필요하며 평가점수가 30미만이면 버어방지를 위하여 부품설계의 변경이 요구된다. 그러므로 버어방지 정량적평가방법이란 가공된 부품의 버어제거 정도를 결정하는 도구

일뿐만 아니라 버어제거를 위하여 어떤 단계를 개선해야 하는지를 명확히 보여 준다. 그림 14는 버어제거 설계를 위한 흐름도를 나타낸 것으로서 제1단계 버어문제의 확증, 제2단계 재료, 부품, 공정변경, 제3단계 공구, 공정, 조건개선, 제4단계 버어제거 공정선택의 4단계로 구분되고 있다.

그림15는 버어설계의 정량적 평가방법을 나타

표 1 버어제거 설계의 정량적 평가 방법 점수

항 목		평 가 점 수					
		a		b		c	
버 어	1. 두께	20	0.1mm이하	10	0.1-0.5mm	5	0.5mm이상
	2. 위치	20	외부	10	내부	5	내부와 외부
	3. 종류	10	연삭버어 편칭버어	5	절삭버어	3	소성버어
부 품	4. 재료	5	철	3	동, 알루미늄 스테인레스	2	플라스틱
	5. 치수	5	100mm이하	3	100~500mm	2	500mm이상
버 어 제 거	6. 생산방식	10	배치형	5	배치형 및 연속형	3	연속형
	7. 측면효과	10	제한없음	5	치수공차	3	표면거칠기공차
	8. 에지형태	10	표시없음	5	챔퍼링	3	라운드
	9. 챔퍼치수	10	예리한 에지	5	0.1mm이하	3	0.1mm이상

표 2 버어제거를 위한 공구와 기계의 선택표

(버어제거방법)

- | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1. 브러쉬법 | 2. 벨트연삭법 | 3. 회전배럴법 | 4. 진동배럴법 | 5. 원심력배럴법 |
| 6. 반복배럴법 | 7. 자이로연마법 | 8. 전해배럴법 | 9. 액체호닝법 | 10. 건조호닝법 |
| 11. 산탄법 | 12. 범폭발법 | 13. 입자유동법 | 14. 열에너지법 | 15. 전해가공법 |
| 16. 워터재트법 | 17. 화학법 | 18. 응고법 | | |

빈칸: 적용가능, S: 연구가 필요함, x: 적용불가능

버어제거 가공방법		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
버 어	두께	0.1mm이하																			
		0.1~0.5mm	S		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	x	x	S	x	S	S	
		0.5mm이상	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	위치	직선																			
		구멍원주																			
		구멍뒷면		x	x	x	x	x	x	x				S							
		교차구멍	S	x	x	x	x	x	x	x	S	S	x	x							
		복잡한 형상		S																	
	종류	외부																			
		내부	S	x	x	S	S	x	x	x		S	S								
		절삭																	S		x
		연삭																	S		x
		편칭																	S		x
	종류	주조	x		x	x	x	x	x	x	x	x			x	S	x	x	x	x	x
		단조	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
분말야금		S		S	S	S	S	S	x	S				x	x	x	x	x	x	x	
용접		x		x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	
가스절단		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
형주조		x	x					x	x	x					x		x	x	x	x	
모울딩	x	x					x	x	x	S	S	S	S	x	x	x	x	x	x		

