

금속박판과 프로젝션 용접을 이용한 쾌속 조형법의 개발

이 상 찬* · 최 진 호**

*목포대학교 기계, 해양시스템공학부

**경상대학교 기계항공공학부, 항공기부품기술연구센터

Development of Rapid Prototyping Technique using Sheet Metal and Projection Welding

Sang-Chan Lee* and Jin-Ho Choi**

*Division of Mechanical and Marine system Engineering, Mokpo Nat. Univ., Mokpo 534-729, Korea

**School of Mechanical and Aero Space Engineering, Gyeongsang Nat. Univ., Chinju 660-701, Korea

Abstract

In today's highly competitive marketplace, it is of great significance for the manufacturing industry to reduce lead-time and costs for the product development. Since first emerged in 1986, Rapid Prototyping (RP) technology has helped successfully to reduce time and costs. Recently, RP using functional materials such as metal has been researched. However RP using the molten metal has been struggling to resolve several drawbacks, such as dimensional inaccuracy, poor surface finish, post finishing, etc., that originate primarily from the overall deposition of molten metal for each layer. So, the purpose of this study is to develop a new RP technique using sheet metal and projection welding for reducing several drawbacks in occurring RP using molten metal. Also tensile and bending specimens were made by the developed RP process using projection welding and were verified.

* Corresponding author : sclee@mokpo.ac.kr

(Received December 19, 2003)

Key Words : Rapid prototyping(RP), Projection welding, Sheet metal, Specimens

1. 서 론

현대 사회에서는 소비자의 다양한 기호에 맞는 제품을 생산하는데 있어서 제품 개발 기간 단축과 제작비용을 줄일 수 있는 제작 방법이 절실히 요구되고 있다. 따라서 제품생산 방법에 있어서도 소품종 대량생산체제에서 다양한 모델을 빠른 시간에 공급하는 다품종 소량생산체제로의 변화가 요구되고 있다. 이에 따른 제품개발 기간의 단축과 원가절감을 위해 제품개발 초기부터 제품개발상의 모든 단계를 동시에 상호협력하에 이루어지게 함으로써, 제품개발 과정의 수정 보완 단계를 효율화하여 결과적으로 제품경쟁력을 향상시키고자 하는 노력이 계속적으로 이루어져 왔다¹⁾.

쾌속 조형법(Rapid Prototyping Technique)은 최근 각광받고 있는 기술로써, 현재 제품개발에 있어 매

우 중요한 단계인 시작품 제작공정의 혁신을 주도하고 있다. 기존의 시작품 제작공정은 대부분 수가공으로 이루어졌으며, 이는 상당한 시간과 경비를 필요로 한다. 이에 반해 쾌속 조형법은 CAD 데이터를 이용하여 빠르고 정확하게 복잡한 형상의 시작품을 만들 수 있다. 이는 시작품 제작기간을 단축하고, 경비를 절감할 수 있다. 또한, 시작품의 수정, 보완이 용이하여 전체적으로 제품개발 기간을 크게 줄일 수 있다^{2,3)}.

쾌속 조형법의 상용화는 1986년 미국의 3D System사가 개발한 Stereolithography(SLA)가 시초이다. SLA 방법은 가장 보편적으로 쓰이는 쾌속 조형법으로 액체 상태의 광경화성수지(photopolymer)에 레이저 광선 등을 선택적으로 조사하여 한층 한층 적층해 가는 3차원 인쇄술 방법이다⁴⁻⁸⁾. 이후, 오늘날까지 CAD 데이터로부터 3차원 형상을 직접 만들 수 있는 여러가지 쾌속 조형법이 개발되었으며, 적층재료에 따라 SLA(광

경화성수지), LOM(종이), SLS(고체분말), FDM(왁스) 등이 있다⁹⁻¹⁴⁾. 또한 부분적으로 이런 재료를 이용하여 인베스트먼트 주조(investment casting) 용의 마스터 모델(master model) 등에 응용하기도 한다. 기존에 상용화된 쾌속 조형법(SLA, LOM, FDM, 등)은 적층재료가 비기능성 재료이기 때문에 직접 제품으로 사용하지 못하고 단순히 모형 및 시제품으로만 활용하고 있다.

최근에는 기능성 재료인 금속을 이용한 시작품과 부품(part) 제작에 대한 쾌속 조형법이 활발히 연구되고 있다^{15,16)}. 금속재료로 만들어진 시작품은 디자인 검증과 평가뿐만 아니라, 제품의 기계적 강도나 인성 평가와 같은 제품의 시험성 평가에도 사용될 수 있으므로 그 효율성이 매우 높다. 소량생산의 경우에는 쾌속 조형법을 이용하여 제품을 바로 만들거나 금형(mold)을 제작하려는 시도가 이루어지고 있다.

현재 금속재료를 이용한 쾌속 조형법은 크게 3가지로 볼 수 있는데 첫번째는 금속재료를 용착하여 적층하는 방법과 두번째는 금속 분말과 용점이 낮은 재료를 2차원 단면형상으로 뿌리고 레이저를 조사하여 분말들을 결합시켜 한 층을 조형하고 다시 위에 적층하는 방법이다¹⁷⁾. 세번째는 금속박판(sheet)을 적층하는 방법이 있다.

첫번째 방법은 Stanford 대학과 Carnegie Mellon 대학에서 연구하고 있는 SDM(Shape Deposition Manufacturing)이 있다. 이 조형법은 먼저 레이저, 플라즈마(plasma) 등의 열원을 이용하여 금속재료를 한층 용착시킨다. 용착된 금속재료가 응고되면, CNC, 연삭, EDM 등의 기계가공을 이용하여 용착된 층을 원하는 두께와 윤곽형상을 가지도록 가공한다. 이 방법은 기존의 NC 장비를 이용할 수 있으나, 용융 금속이 유동성이 있기 때문에 형상을 유지하기가 어렵고 냉각 시 수축과 변형이 발생할 수 있다¹⁸⁾.

두번째 방법은 1998년 미국의 Optomec사의 의해서 최초로 상용화된 LENSTM(Laser Engineered Net Shaping)이 있다. 이 조형법은 Nd:YAG 레이저를 이용하여 금속표면에 국부적으로 용탕풀(melt pool)을 만든 후에 형성된 용탕풀 내에 아르곤(argon) 가스로 금속분말을 투입시켜서 결합시킴으로써 원하는 형상을 제작하는 공정이다. 이 조형법은 금속분말을 이용하기 때문에 제품 표면이 깨끗하지 못하며 용융된 분말이 냉각 시 변형을 유발시킬 수 있다.

세번째 방법은 일본과 영국의 Nottingham 대학, 호주 Wollongong 대학, 미국 Dallas의 Southern Methodist 대학 등지에서 이루어지고 있으며, 국내에

서는 한국과학기술원, 한국과학기술연구원 등에서 연구가 진행되고 있다. 또한, 국내에서는 3차원 용접과 밀링공정을 결합한 공정을 개발하였다. 이 공정은 용접을 이용하여 한층을 적층한 후에 밀링을 이용하여 층의 표면과 윤곽을 가공하는 공정이다. 최근에 미국에서는 브레이징(brazing) 재료를 이용하여 박판을 적층하는 시제품을 제작하였다. 이 방법은 박판 사이에 brazing 재료를 삽입하고 200℃~300℃로 가열하여 적층하는 방법이다. 그러나 이 쾌속 조형법은 브레이징 재료의 용점이 낮기 때문에 고온에서는 사용하기가 어렵고, 용점이 높은 브레이징 재료를 사용하면 수축과 변형을 유발시킬 수 있다.

본 연구의 목적은 기존의 금속을 이용한 쾌속조형법의 문제점을 개선하고자 금속박판을 프로젝션 용접(projection welding)으로 적층하여 기계부품으로 사용할 수 있는 쾌속 조형법을 개발하는데 목적이 있다.

프로젝션 용접을 이용한 쾌속 조형법으로 여러가지 모델의 인장시편 및 굽힘시편을 만들어 기계적 특성을 평가하여 보았다. 이렇게 제작한 제품의 성능에 영향을 미치는 여러 가지 공정변수 중에 적층 재질과 금속박판의 두께 변화에 따른 영향을 비교 검토하여 보았다.

2. 시작품 제작장치 및 방법

2.1 시작품 제작장치

프로젝션 용접은 용접하려는 재료에 작은 돌기(projection)를 만들고 전기를 통전(通電)하면 작은 돌기부에서 전기저항에 의한 국부적인 저항열로 금속을 용착시키는 방법이다.

개발하고자 하는 쾌속 조형법의 공정 순서는 다음과 같다. Fig. 1 에서 보듯이 먼저, 컴퓨터를 이용하여 3차원 제품 설계를 한 후 2차원 단면형상으로 분할하고, 레이저 형상 절단기를 이용하여 각 단면의 형상대로 가공한다. 형상대로 가공한 금속박판을 돌기 생성 후 프

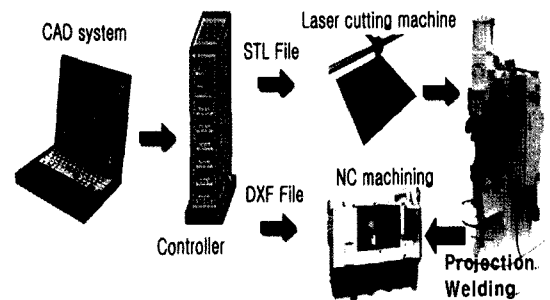


Fig. 1 Manufacturing process of rapid prototyping technique using projection welding

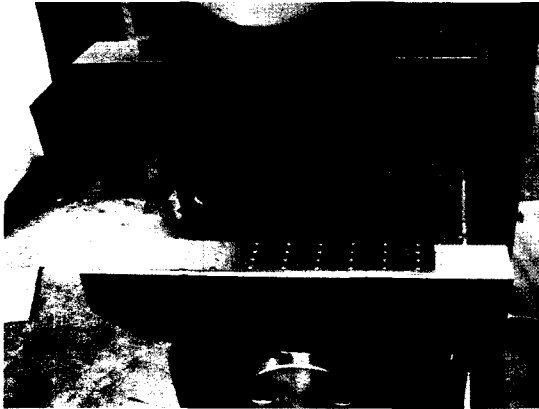


Fig. 2 Laminates of sheet metals using projection welding

로젝션 용접기를 이용하여 용접 적층한다. 마지막으로 NC 머시닝을 이용하여 적층 경계면을 처리한다.

Fig. 2는 프로젝션 용접기를 이용하여 금속박판을 적층하는 것을 나타낸다.

2.2 프로젝션 용접을 이용한 시험시편 제작

본 연구에서는 프로젝션 용접을 이용하여 STS304와 SS330 재질로 KS B 0801 규정의 인장시험 시편과 KS B 0803 규정의 굽힘시험 시편을 다음과 같은 방법으로 제작하였다.

- (1) 인장시편과 굽힘시편의 규격은 KS B 0801 규격과 KS B 0803 규정에 의거 제작하였다
- (2) 프로젝션 용접을 이용한 쾌속 조형법으로 금속박판을 적층하여 두께 5mm의 시편들을 제작하기 위하여 Table 1과 같이 STS304와 SS330의 금속박판을 준비하였다.

NO.3, NO.4 시편의 경우는 강도가 서로 다른 재질 즉 STS304와 SS330 재질로 혼합하여 적층한 시편이다. NO.5 (STS304 5mm)와 NO.6 (SS330

Table 1 Compositions of tensile specimens and bending

	Tensile specimen	Bending specimen
NO.1	STS304 1mm(5EA)	STS304 1mm(5EA0)
NO.2	(STS304 2mm(2EA) + (STS304 1mm(1EA)	(STS304 2mm(2EA) + (STS304 1mm(1EA)
NO.3	(SS330 1mm(3EA) + (STS304 1mm(2EA)	(SS330 1mm(3EA) + (STS304 1mm(2EA)
NO.4	(STS304 2mm(2EA) + (SS330 1mm(1EA)	(STS304 2mm(2EA) + (SS330 1mm(1EA)
NO.5	STS304 5mm(1EA)	STS304 5mm(1EA)
NO.6	SS330 5mm(1EA)	SS330 5mm(1EA)

5mm)는 쾌속 조형법으로 제작한 NO.1 ~ NO.4의 시편들과 인장강도와 굽힘강도를 비교하기 위하여 두께 5mm의 박판을 가공하여 제작한 것이다.

- (3) 준비된 시험편에 돌기를 생성하기 위한 압력다이 (pressure die)와 프로젝션 용접을 위한 탄소전극을 만든다.
- (4) 압력다이를 이용하여 준비된 시험편에 가로 2mm, 세로 1mm의 간격으로 돌기(projection)를 생성한다.
- (5) 돌기가 생성된 시편을 프로젝션 용접기를 이용하여 전류 10,000A, 통전시간 55cycle와 가압력 8,500Kg_f의 공정조건으로 한층씩 용접하여 적층시킨다.
- (6) NC 머시닝을 이용하여 적층경계면을 처리한다.

2.3 시작품 적층 경계면 처리

프로젝션 용접을 이용한 쾌속 조형법은 일정 두께의 박판을 적층하는 것이므로 제조된 시작품의 측면에 층이 생기게 된다. 이러한 현상은 쾌속 형상 제조법의 전반적인 문제점이기도 하다.

본 연구에서는 경계층이 발생하는 시편들의 측면을 처리하기 위해 시편의 외곽을 NC 머시닝을 이용하여 가공처리하였다. NC 머시닝을 사용하기 위해서는 G 코드가 필요하기 때문에 시제품 드로잉(drawing)시 가공치수 0.5mm를 더 주었다. G 코드 파일의 생성과정을 단계별로 보면 다음과 같다.

- (1) 1단계 : 전산도면 그림 파일을 DXF 파일로 변환하였다.
- (2) 2단계 : 정해진 스캐닝 방법에 따라 적층된 형상의 측면 경계면만 처리할 수 있도록 처리하였다.
- (3) 3단계 : G 코드로 전환, 출력시킨다.
- (4) 4단계 : NC 머시닝으로 경계면을 가공한다.

위에서 생성한 G 코드를 바탕으로 NC 머시닝을 이용하여 시편들의 적층 경계면을 가공한다.

Fig. 3은 위와 같은 방법으로 적층하고 경계면을 처리한 인장시편이다.

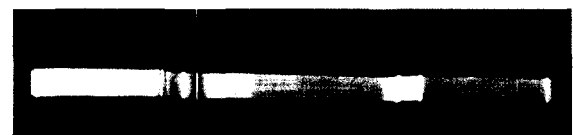


Fig. 3 Result of side face processing of tensile specimen

3. 시작품의 강도 실험

3.1 인장시험 결과 및 고찰

Table 2와 Fig. 4는 각각의 동일한 시편을 5회 실험하여 구한 강도들을 평균하여 얻은 인장강도와 항복 강도를 나타낸 것이다. 여기서 항복강도는 영구변형률이 0.2% 때의 하중을 시편의 원 단면적으로 나눈 값이다.

두께 1mm의 동일 재질 STS304 5장으로 적층한 NO.1 시편과 두께 2mm의 STS304 2장과 두께 1mm의 STS304 1장으로 적층한 NO.2 시편의 인장강도와 항복강도는 두께 5mm의 STS304를 가공하여 제작한 NO.5 시편의 강도와 비슷하였다. NO.2시편의 인장강도는 NO.5 시편의 94% 이었다.

이는 인장강도의 경우 동일한 재질인 경우 프로젝션 용접으로 적층한 제품은 충분한 인장강도와 항복강도를 유지할 수 있음을 확인할 수 있다.

Table 2와 Fig. 4에서 보듯이 두께 5mm의 SS330으로 가공하여 제작한 시편인 NO.6의 인장강도는 두께 5mm의 STS304로 가공하여 제작한 NO.5의 인장강도 60%임을 알 수 있다. 이 두 재료를 조합하여 적층한 NO.4의 시편은 NO.5 시편보다는 인장강도가 낮았지만

Table 2 Results of Tensile strength, yield strength, and strain of tensile specimens

	Tensile strength (Kg/mm ²)	Yield strength (Kg/mm ²)	Strain
NO.1	52.063	27.2	0.851
NO.2	47.942	24.84	0.868
NO.3	37.075	28.1	0.581
NO.4	46.313	25.9	0.810
NO.5	50.95	26.5	0.980
NO.6	30.69	20.5	0.483

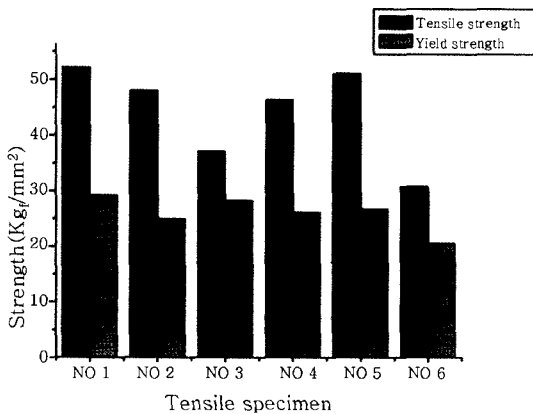


Fig. 4 Distribution of tensile strength and yield strength

NO.6 시편보다 주목할 만한 인장강도를 얻었다.

이는 프로젝션 용접을 이용한 쾌속조형법으로 기계적 성질이 우수한 고가의 재료와 비교적 저가의 재료의 적절한 조합을 통하여 저렴하고도 소정의 강도를 갖는 부품이나 금형을 제작할 수 있음을 확인하였다.

Fig. 5는 시편들의 Stress-Strain곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, STS304의 재질로만 적층된 NO.1과 NO.2의 시편과 SS330이 1개 혼합되어 적층되어진 NO.4의 시편들은 모두 두께 5mm인 STS304의 시편 NO.5와 비교하여 STS304의 우수한 인장강도와 변형율을 유지하고 있다.

3.2 굽힘시험 결과 및 고찰

본 실험에서 사용한 굽힘시편은 Table 1에 나타난 바와 같이 인장시편과 동일하게 제작하였다.

Fig. 6은 각각 5개의 굽힘시편들의 굽힘시험 결과에 대한 평균치의 응력-변형률의 곡선을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, 적층한 시편들의 굽힘강도는 인장강도와는 달리 STS304를 두께 5mm의 굽힘시편으로 직접 가공하여 제작한 NO.5 시편의 굽힘강도보다 작음을 알 수 있다. Fig. 6에서 두께 5mm의 STS304로 이루어진 NO.5 시편과 두께 5mm의 SS330으로 이루어진

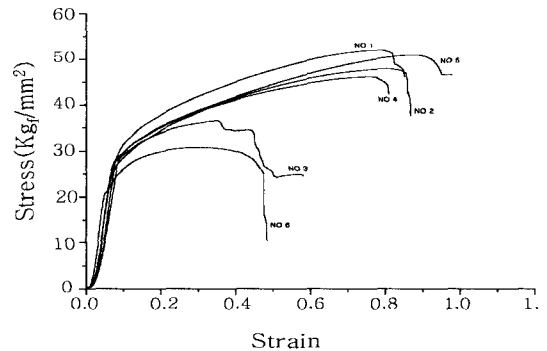


Fig. 5 Stress-strain curve of tensile specimens

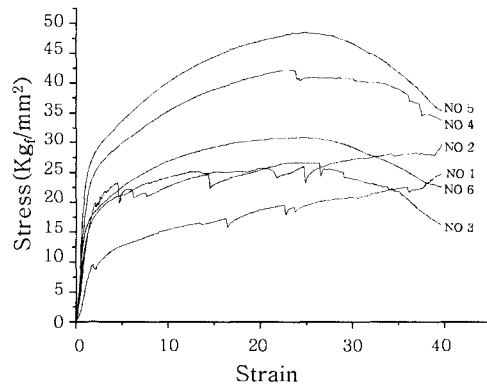


Fig. 6 Stress-strain curve of bending specimens

어진 NO.6 시편의 Stress-Strain 곡선은 완만한 곡선을 보인 반면, 프로젝션 용접으로 적층 되어진 NO.1, 2, 3, 4의 시편의 곡선은 불규칙하게 나왔다. 이는 굽힘시험에서는 굽힘하중을 받는 위치에 따라 굽힘 변형에 큰 차이가 있고, 이러한 차이에 의해 굽힘 변형이 큰 곳에서 먼저 접합 부위가 탈락하는 것이 원인인 것으로 예상된다.

본 굽힘시험에서 주목할 점은 재질에 관계없이 적층 박판이 많아 필연적으로 돌기가 많이 생성된 NO.1, NO.3 시편보다 돌기가 비교적 적게 생성된 NO.2, NO.4 시편의 굽힘강도가 높게 나온 것이다. 또한, STS304 박판으로만 적층된 NO.2 보다는 SS330 박판이 포함된 조합으로 이루어진 NO.4 시편의 굽힘강도가 높게 나왔다.

위의 실험을 통하여 인장강도와 굽힘강도 모두를 고려할 때, 두께 1mm의 SS330이 포함된 NO.4의 시편이 가장 우수한 기계적 성질을 나타냈다. 또한, 금속박판과 프로젝션 용접을 이용하여 쾌속조형할 때, 용접조건, 시편의 두께 및 재질이 다른 금속박판의 조합이 매우 중요한 변수임을 알 수 있다. 그러므로 금속박판과 프로젝션을 이용한 쾌속조형법에 의해 제작된 제품에 영향을 미치는 변수들을 최적화하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 금속박판과 프로젝션 용접을 이용한 쾌속 조형법을 개발하고, 이 조형법에 의해 제작된 인장시편 및 굽힘시편을 직접 가공한 시편과의 기계적 특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 인장시험을 통하여 동일 재질을 적층한 시편(NO.1, 2)이 직접 가공한 시편(NO.5)처럼 충분한 인장강도를 유지할 수 있음을 확인할 수 있었다.

2) 두께 1mm의 SS330 박판 1개가 포함된 NO.4 시편의 인장강도는 두께 5mm의 STS304로 제작된 NO.5 시편의 91% 이었다. 이는 본 연구에서 개발한 프로젝션 용접을 이용한 쾌속 조형법은 강도가 낮은 저렴한 재료를 적절히 혼합하여 적층하면 기계적 성질이 우수한 제품을 만들 수 있다.

3) 두께 1mm의 금속박판 5장을 적층한 시편(NO.1, NO.3)보다는 두께 2mm의 금속박판을 포함하여 3장을 적층한 시편(NO.2, NO.4)의 굽힘강도가 높게 나타난 것을 볼 수 있었다. 이는 금속의 재질에 상관없이 용접부위가 많은 시편일수록 굽힘강도가 현저히 떨어지는 것을 볼 수 있다.

4) 인장시험과 굽힘시험 결과 두께 1mm의 SS330 박판 1장이 포함되어 적층된 시편(NO.4)이 가장 우수

한 기계적 성질을 나타낸다.

5) 금속박판과 프로젝션 용접을 이용한 쾌속조형은 공정조건, 금속박판의 두께 및 기계적 성질이 다른 박판의 조합이 매우 중요한 변수이다.

후 기

본 논문은 2002년도 두뇌한국21 사업과 2003학년도 목포대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 신민철 : 금속재료를 이용한 직접식 3차원 형상 제조 공정의 실험적 연구, 한국과학기술원 박사논문, (1995), 1-56 (in Korean)
2. J.P. Kruth : Material Incess Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques, Annals of the CIRP, 40 (1991), 603-614
3. M. Fallon : Desktop Manufacturing' Takes You from 'Art to Part', Plastics Technology, (1989), 78-82
4. R.B. Aronson : So Rapid Prototyping Works, Now What?, Manufacturing Engineering, (1993), 37-42
5. D. Deitz : Stereolithography Automates Prototyping, Mechanical Engineering, (1990), 34-39
6. B. Haase : Stereolithography at Chrysler Motors, Microcad News, August 1990
7. S.W. Thomas : Stereolithography Simplifies Tooling For Reinforced Rubber Parts, Mechanical Engineering, (1992), 62-66
8. T. Nakagawa and J. Weiv : Laser Stereolithography and Its Application to Forming Industries, Advanced Technology of Plasticity, (1993)
9. S. Ashley : Rapid Mold-Making For Investment Casting, Mechanical Engineering, (1992), 49-51
10. E. Sachs, M. Cima and J. Cornie : Three-Dimensional Printing : Rapid Tooling and Prototypes Directly from a CAD Model, Annals of the CIRP, 39 (1990), 201-204
11. E. Sachs, M. Cima, P. Williams, D. Brancazio, and J. Cornie : Three Dimensional Printing : Rapid Tooling and Prototypes Directly from a CAD Model, Journal of Engineering for Industry, 114 (1992), 481-488
12. T.T. Wohlers : Make Fiction Fact Fast, Manufacturing Engineering, (1991), 44-49
13. S. Ashley : Rapid Prototyping Systems, Mechanical Engineering, (1991), 34-43
14. S. Ashley : Rapid Prototyping For Artificial Body Parts", Mechanical Engineering, (1993), 50-53
15. D. Hauber : Automatic Production of P/M Parts Directly From A Computer Aided Design Model, The Int. J. of Powder Metallurgy, 24 (1998), 337-342
16. P. Hilton : Making the leap to rapid tool making, Mechanical Engineering, (1995), 70-76
17. S. Ashley : Prototyping with advanced tools, Mechanical Engineering, (1994), 48-45
18. Y.S. Yang and S.J. Na : A Study on Residual Stresses in Laser Surface Hardening of a Medium Carbon Steel, Surface and Coatings technology, 38 (1989), 311-324