《기술자료》

최근 열처리 관련 기술 동향 및 발전 방향

문경일 · 김성완
한국생산기술연구원, 플라즈마응용팀

Recent trends of Heat Treatment Research

Kyoung Il Moon, Sung Wan Kim
Plasma enhanced technology development team, KITECH, Incheon 406-800, Korea

1. 서 론

기계 부품제작 공정 중에서 최종 가공 공정에 속하는 열처리는 자동차, 선박, 항공기, 기계, 자동차 부품의 강도, 내마모성, 내구성성 뿐만 아니라 성능 및 변형제어를 통한 정밀도 향상 등의 기계 조립 제품의 특성이나 사용 수명에 직접적인 영향을 미치게 된다. 또한, 금형, 주조, 소성, 도금, 용접 등의 타 기반 공업 기술과 상호 복합적인 관계를 갖기 때문에 열처리 기술의 발전이 타 기반기술의 발전에 유기적인 관계를 가지고 있어, 그 나라 산업기술의 수준을 결정하는 중요한 공정이다. 특히, 국경 없는 경쟁이 요구되는 시대에 자동차 및 기계 부품의 품질을 결정하는 기반 기술로서 공업선진국에게 있어 열처리 산업의 중요성은 매우 크게 인식된다. 표 1에 GNP에 증가에 따른 의식주 변화 및 산업환경의 변화를 나타냈는데, GNP의 수준이 높은 나라에서 열처리 기술이 발달되어 있고 사용 소재 수준 및 자동차 부품의 품질 수준도 높아지는 것을 확인할 수 있다.

2004년 9월 한국생산기술연구원 열표면처리센터에서 조사한 국내 열처리 산업 현황 조사 결과에 의하면, 국내 열처리 산업의 주요 수요 산업은 자동차 부품이 67%, 기계, 금형 부품이 22%, 중장비, 전자 부품 순으로 나타나서, 열처리 산업에 있어 자동차 산업의 중요성은 매우 크다. 10년간의 기나긴 불황의 터널을 탈출한 일본에서 그 기반이 된 도요다 자동차의 성공 스토리를 살펴보면, 불황의 시기에도 품질 향상에 끊임없이 노력한 결과라는 것과 그 기초가 소재와 열처리 기술이었다는 것을 살펴 볼 때 두 산업간의 긴밀성은 더 강조할 필요조차 없을 듯하다. 2005년 자동차 생산량이 세계

표 1. GNP 와 의식주 및 산업환경의 상관관계

GPS($)	의	식	주	교통	소재	열처리	자동차 기어의 피로강도 σ_D(단위 kgf/mm^2)
100	추위	2	전세	도보	쇠	염욕	·
1,000	가지	4	개인집 온돌	자전거	하가네 나바	Q/T	·
5,000	멋	3	아파트	대중교통	SS490 S45C SM45	대량가스	σ_D = 110
10,000	명품	의식 + 다이어트	개인방	승용차 고속전철	HIGHS 공구강	진공	σ_D = 140
20,000	기능성	2	별장	도보 자전거	초경 트구용도감 신소재	나노 $\Gamma_R\sigma_D$	σ_D = 180

시장의 5.6%를 차지하여 G5에 도달하고 국내 자동차가 값싼 자동차의 이미지에서 점차 고급차의 이미지로 발전하고 있는 가운데, 열처리 산업과의 밀접성은 더욱 커질 것임에 틀림없다. 특히, 국내 자동차 시장의 규모가 점차 커짐에 따라 외국 부품 회사의 관심도 높아지고 있기 때문에 품질의 수준의 핵심이 되는 열처리 기술 분야의 혁신 및 재정비가 필요한 시점이다.

최근 열처리 관련 소재 및 부품 기술은 극소, 극한, 초경량, 고기능, 고성능 구현을 위한 기술 개발을 위해 연구가 경쟁적으로 진행 중이며 미래지향적인 차원에서 단순히 재료 특성의 향상 차원이 아니라 자원 절약, 에너지 절약, 환경 문제와 함께 다뤄지고 있다. 그림 1에 자동차 관련 열 · 표면처리 기술의 혁신 현황을 정리하였다. 열처리 기술은 단순한 야금학적 Know-how 축적이 아니라 설비와 산업인프라에서 부품의 특성을 얻기 위한 시장원칙에 의한 필요기술로 첨단 제품의 분석을 통한 선진 기술의 단순한 모방시는 이미 경쟁대열에 끼기 어렵다는 점 등을 고려할 때 국가 기반 산업의 안정적인 발전과 내수 시장 보호 측면에서 10년 이상을 내다보는 장기적인 안목에 의한 투자가 필요하다.

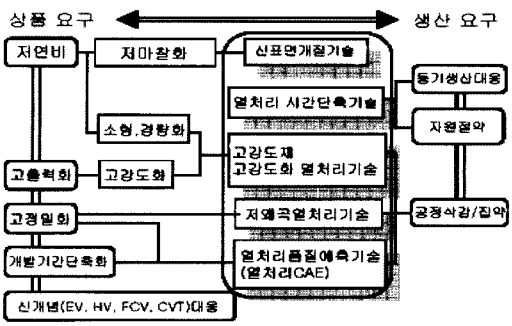

그림 1. 자동차 관련 열 · 표면처리 기술의 혁신 요구 현황.

본고에서는 국내외 산업환경 변화에 따른 자동차, 기계, 금형 등 열처리 산업의 주수요 산업의 동향을 살펴보고 이에 대한 열처리 업체의 대응 방안 및 기술 발전 방향에 대해 살펴보고자 한다.

2. 국내외 열처리 산업 동향

국외의 동향을 살펴보면, 열처리 산업은 자동차 산업과 함께 발전하는 경향이 강하다. 미국의 경우, 자동차 최대 수요 국가로서 관련 열처리 산업의 최대 시장이지만 자체 기술 개발이 거의 전무할뿐더러 하향세인 자동차 산업에 따라 열처리 산업의 발전도 더딘 상태이다. 반면 자동차 산업이 최고조에 있는 일본 등의 경우, 2008년까지 열처리 시장의 급격한 성장세가 예상되고 있다. 결국, 최근 열처리 경향은 시장의 안정화와 큰 관계가 있다고 할 수 있다. 따라서 아무리 좋은 기술도 시장에 합리적으로 접근하지 못하거나 까다로워지고 있는 소비자의 구미를 맞추지 못 한다면 성공이 어렵다는 명백한 시장 원리가 지배적이라고 할 수 있다.

독일, 프랑스 등 열처리 선진국에서 열처리 산업의 경향을 몇 단어로 요약하면 대형화, 신기술 전문화, 고급화, 홀딩컴퍼니화로 묘사할 수 있다. 자동차 산업과 연계한 on site factory화 되어가고 있으며 최근 폴란드, 체코 등으로 생산기지 이동에 따라 다양한 경쟁력 강화 방안이 연구 중이다. 특히 열처리 고급화를 위해 인력 고급화에 가장 역점을 두고 있다. 신열처리, 표면처리에 의한 금형, 공구(마이크로드릴, 엔드밀) 및 정밀 부품의 수명 향상을 이끌어 부가가치 창출을 통한 경쟁력 향상에 주력하고 있으며 엔지니어링을 통해 원하는 물성을 얻기 위한 최적 기술을 적용하는 고부가가치 위주의 주문자 생산 유형의 제품을 중점 생산하고 있다.

표 2. 한중일 자동차 부품의 경쟁력 수준 전망

	일 본	한 국			중 국		
		현 재	2005	2010	현 재	2005	2010
품질 수준	100	86.3	90.0	96.7	66.7	78.3	86.7
가격 수준	100	83.3	90.0	91.7	88.3	81.7	81.7
종합경쟁력	100	83.3	90.0	92.5	71.7	83.3	93.3

[참고] 한국자동차 산업연구소 2002. 7.

일본의 경우, 지난 10년간의 침체기를 벗어나 최고 경기를 맞고 있는 자동차산업과 더불어 경제가 최고의 활황 상태로서 2008년까지 급격한 성장세 예상 속에 기술 개발보다 기존 기술 관련 설비증설에 치중할 것으로 알려져 있다. 표 2에 나타냈듯이 자동차 관련 부품의 경쟁력이 2010년대까지도 한, 중에 비해서 매우 높은 상태를 유지하기 때문에 2010년까지는 안정한 발전을 기대하고 있으며 하향세가 예상되는 2010 후는 신기술에 투자가 예상되는데 이때도 차세대 자동차 산업의 발전을 위해 열처리기술은 재편될 것으로 예상하고 있다. 금형, 공구(마이크로드릴, 엔드밀) 및 정밀 부품의 고품질화로 세계시장석권하고 있으며 소재산업과 더불어 자동차 산업의 경쟁력 강화의 기초 기술로서 열처리 기술에 대한 자부심이 가장 높은 단계에 있다.

중국의 경우, 1970년대 이후 개방 정책과 함께 20년 동안 10억 달러 이상을 투자하여 장비 및 저인건비로 급속한 성장을 이뤘으며 2000년대 초부터 철강 시장 및 자동차 시장의 확대에 따라 급격한 성장세에 있다. 중국에서는 급속한 경제 발전과 더불어 열처리업체의 수도 그림 2에서 볼 수 있는 것과 같이 가히 대국적이라 할 만큼 많아졌다. 2005년 기준 열처리 시장 규모는 겸업 포함 1조 8000억원으로 세계 10위권이다. 반면 2005년 연간 30% 대 성장을 이뤘으며 앞으로 급성장세는 계속될 것으로 전망된다. 기계 계통의 열처리 공업에 관한 자료를 통해 예측해 보면, 전업 업체는 그림 1에 표시된 2000개 업체를 포함해 약 10,000개이다. 전문화된 열처리 생산은 전체의 약 10%이므로 직, 간접적으로 열처리를 하는 업체는 10배이상 된다. 정부의 적극적인 장려 정책으로 생산에 필요한 전기, 수도는 물론 금형에 대한 면세 혜택을 받고 있으며 자동차, 기계, 금형의 국가경쟁력 강화포인터로 집중 육성 중이다. 국민 소득이 5,000불 이상이 되는 2007년 이후 자동차 수요가 1억 5000만대까지 급격히 증가될 전망되어 국내 자동차 및 기계산업의 격전지가 될 것으로 예상된다.

국내의 열처리 산업의 시장 규모는 전업시장은 약 1.7조원(겸업포함 약 3.8조원)으로 현재 G7 수준이다. 전업시장규모는 일본(전업시장 1.8조원, 겸업포함시장 8조원)과 비슷한 수준이나 업체수가 3배량 가량

그림 2. 중국내 열처리 업체의 분포도.

많아 채산성이 낮은 것으로 나타났다. 기술 수준은 성숙단계에 있어 진공열처리, 진공침탄, 저압질화 기술의 중요성을 인식하여 도입이 진행 중이며 이를 이용한 기술적인 성장이 시도되고 있는 단계이다. 향후 열처리 고급화를 주도하게 될 코팅 및 복합 열처리 기술은 시장이 형성되는 단계로서 아직 자체 기술 개발 및 공정 개발보다는 외국 장비를 이용한 생산에 치중하고 있다. 장비의 경우, 기초를 이해 못하여 외형 제작만 가능한 분야로서 자체 공정 기술 수준이 현재까지는 매우 낮은 상태이다. 자동차 산업의 발달로 저가 대량 생산에 주력하였으나 국제적으로 한국자동차의 인식이 높아지는 것과 더불어 품질 향상에 대한 관심이 증가중이다. 열처리표면처리 분야의 가장 큰 수요업체인 자동차, 철강 산업의 호황으로 당분간 10% 정도의 지속적인 향상 기대되며 자동차 산업의 발전과 더불어 100억대 이상의 매출을 거두고 있는 업체수가 증가되고 있는 점도 고무적이다. 다만, 에너지 가격 상승에 의한 수익성 저하로 구조 조정이 필요하다.

열처리 선진국의 기술개발 동향 및 추세를 보면 표 3과 같이 정리된다. 향후 10~20년간 개발을 목표로 하는 주요 열처리 기술 항목은 열처리 변형 저감, 재료의 강도개선, 에너지 및 CO_2의 저감 등이다. 이러한 기술적인 내용 외에 시스템적으로 신기술 및 첨단기술과 복합화, 제조공정의 IT화 및 글로벌 아웃 소싱 등으로 국가 경쟁력을 높이는 방향으로 발전을 모색 중이며 기존 시장의 수요가 한계점에 도달하여 새로운 시장에 대한 영향력 구축을 위해

표 3. 2020 년 대비 선진 열처리 산업의 발전 전망

항목	내용
에너지절감	에너지 소비 80% 감소, 단열 효과 향상 4 배
환경 , 유해물질	유해물질 zero
생산성과 품질	처리시간 반감 제조원가 1/4 로수명 10 배 로가격 반감 열처리 변형 없음 열처리 품질 균일성 가능한계
산업성과	투자이익율 25% 거래 관계 10 년 계속

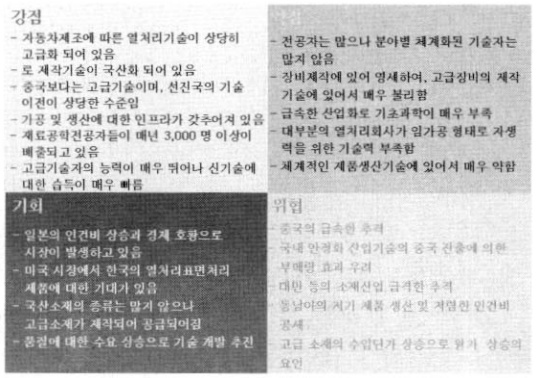

그림 3. 한국열처리 산업의 SWOT.

Bodycote 등과 같은 대형회사를 통해 전세계 열처리 수요에 대해 대응할 수 있는 network system 구축 중이다.

국내의 경우, 품질의 고급화 및 고기능화를 위한 신기술 접목과 신공정 개발 필요성(저압 침탄, 질화/내마모, 내윤활 코팅 기술 등), 자동차 고급화 및 글로벌 부품 생산 지원을 위한 환경 친화형 hybrid 열처리 기술 개발에 대한 필요성에 인식이 증가되는 추세이며 원가 절감에 대한 필요성과 에너지 절감에 부응할 수 있는 기술 개발의 필요성에 대한 인식이 점차 커지고 있다.

국내외 열처리 산업 현황을 통해 확인할 수 있는 국내 열처리 산업의 SWOT를 정리하면 그림 3과 같이 정리된다. 이들 중 대표적인 강점을 살펴보면, G5수준의 생산량과 150종의 자동차 모델을 보유하고 있는 자동차 생산국으로서 국내 열처리 기술에 대한 인식이 좋다는 것, 열처리 기술의 고급화에 대한 인식이 높고 가공 및 생산에 대한 인프라가 잘 구축되어 있다는 점, 일본의 경제 호황과 인건비 상승과 중국 자동차 수요 증대에 따른 시장 발생 가능성, 연 3,000명 이상의 재료 공학 전공자들이 배출되고 있고 고급 기술자의 능력이 우수하다는 점을 들 수 있다.

3. 국제사회의 변화 (Paradigm shift) 및 열처리 관련 시장 변화

최근 국제사회에 일고 있는 중요한 변화의 중심어(key-words)를 열처리 산업에 영향을 미칠 수 있는 순으로 정리하면, 가장 중요한 것이 유가 상승으로 2008년 배럴당 100달러까지 상승할 것으로 예상되기 때문에 에너지를 많이 소비하는 열처리 산업에 큰 영향을 미칠 것이 분명하다. WTO, FTA 등 국가간의 새로운 무역 시스템에 의한 국경없는 경쟁이 중요해질 것이다. 특히 FTA 협상에 의해 미국의 국내 자동차 수요 증가 더욱 증가할 것으로 예상되며, 일본의 경우, 서부 지역의 경우, 국내와의 무역 증대가 예상되어 일본의 까다로운 품질 요구에 대한 대비책이 필요할 것이다. 중국, 동남아 등으로의 제조기지의 이전에 의해 시장축소가 예상되기도 하지만, 일본의 경우, 고품질의 제품이 국내로 회귀하는 경향이 관찰되어 국내경쟁력 수준이 높으면 잘 해결될 수 있는 문제로 생각된다. 이를 위해 고급인력확보에 대한 노력을 기울여야 할 것이다. 이를 위해 먼저 3D 산업이라는 이미지에서 벗어나기 위한 노력이 필요할 것이다. 환경개선을 통한 열처리 산업에 대한 인식제고는 고급인력에 대한 유도에도 유리하지만, 현재 인원들의 능력 제고에도 절대적으로 필요한 조건이다. 환경을 바꾸면 태도가 바뀌게 되고 생각도 바뀐다는 사실을 관련 업체 CEO들이 다시 한 번 상기 해 볼 필요성이 있다.

자동차 산업의 국내 제조업에서의 위상을 살펴보면, 2001년 제조업의 9.6% 및 국내 총수출의 7.6% 점유하고 있으며 2002년 자동차 무역흑자 120억 불, 관련 세수 18조원으로 전체 15.2%에 달한다. 관련 부품 및 소재산업의 종업원수가 20.4만 명에 달한다. 2005년 현재 생산대수 G5 수준이며, 2010년 G4,

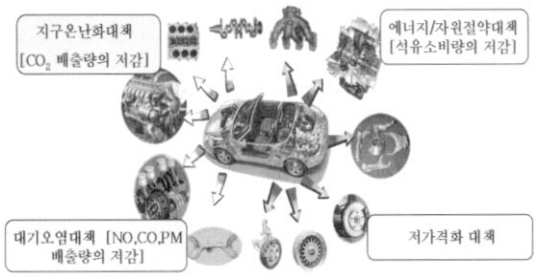

그림 4. 자동차 관련 주요 당면 과제.

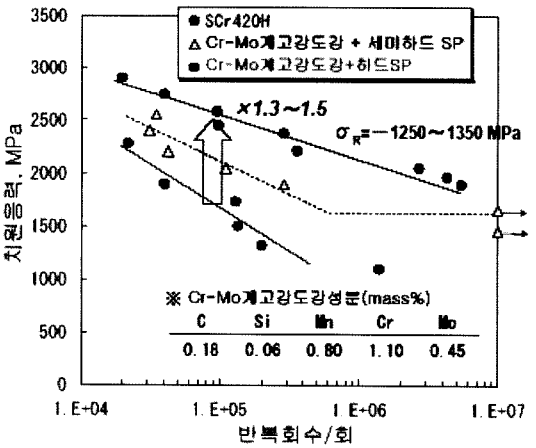

그림 5. 톱니 부분 굽힘 피로강도에 미치는 강재의 SP(shot peening)의 영향.

2013년 이후 G2를 목표로 맹진하고 있다. 자동차 생산대수 증가 및 해외 생산으로 협력 업체의 생산거점 이전이 요구되고 있다. 자동차 분야의 국제 경쟁 심화로 원가 절감 요구가 증대하고 있으며, 반면 자동차 업체의 국제적인 선전으로 해외 업체로의 부품 직수출이 증가추세이며, 국내 열처리 산업에 대한 인식이 국제적으로 점차 좋아지고 있다. 최근, 도요다자동차가 현대자동차를 벤치마킹 한 결과에 따르면 한국자동차 부품은 과감히 열처리 신기술 도입하며 때때로 생략을 통해 가격 경쟁력 부여하고 있다는 평가를 받았다. 국제적으로 좋은 평을 듣고 있으나 초기 품질 지수 1위라는 단서가 붙어 있어 부품의 내구성 향상을 위한 소재 및 열처리기술 가공기술의 협력이 절실히 요구되는 것이 현실이다. 또한, 2010년대 도요다와 함께 미국에서 살아남을 수 있는 2대 자동차로 평가 받으며 앞으로 도요다의 많은 견제가 예상된다.

자동차 산업에서 요구하는 기술적인 당면과제를 그림 4에 정리하였다. 지구 온난화 대책으로서 CO_2 배출량 저감이 요구되고 있으며 에너지/자원절약대책 및 대기오염대책과 대기 오염원인 NOx, COx, PM 배출량의 저감, 저가격화 대책이 요구되고 있다. CO_2 배출 및 연비 절감 노력으로서 대체 연료 개발, 엔진구조의 개선, 연료 분사법의 개선, 부품의 경량·고강도화, 부품의 소형 박육화, 접동부의 마찰계수 저감이 요구되고 있다. 표 4에 세계 유명 자동차 메이커에서 진행하고 있는 CO_2 저감 목표를 정리하였다.

치원강도(충격, 피로강도)는 1970년대 후반부터 왕성하게 연구가 진행되어 왔고, 저P강이나 Cr-Mo강이 개발됨과 동시에 침탄 후에 실시되는 하드쇼트피닝(HSP)를 적용하여 비약적으로 향상되었다(그림 5). 그럼에도 불구하고 최근의 소형경량화 및 커먼레일, DOHC, 터보차져 등 엔진 성능 강화 및 고출력화로 엔진부품에 과하중이 걸려 조기 마모 손상의 문제가 발생하여 한 단계 높은 고강도화가 불가피하게 되었다. 이에 대한 대책으로서 고침탄기술, 침탄질화기술, 표면잔류응력 향상 기술 등 내마모성, 내피로하중성을 향상시키기 위한 열처리 기술 개발에 대해 적극적인 검토가 필요한 시점이다.

금형산업의 동향을 살펴보면, 2005년 일본 네도자료에 의하면 세계 시장은 60조 규모이며 이중 일본이 1/3을 차지하는 것으로 나타났다. 동남아, 특히

표 4. 선진 자동차 사들의 CO_2 배출량의 감축 현황 및 목표

구분	'98			'99		'08	
	유럽	미국	일본	유럽	Peugeot Citroen	유럽자동차 제조협회 자율협정	Peugeot Citroen
CO_2 배출량 (g/km)	186	191	260	176	168	140	120

표 5. 한일 양국의 금형기술 수준 비교

국면		한국	일본	비교
소재	자급률 (%)	39.3	100	몰드베이스
	금형소재	SM 45 C	SM 55 C	몰드베이스
설계 제작기술	설계	범용	CAD/CAM	IC 리드프레임
	정도 (mm)	0.01	0.001	
	표면조도 (S)	6.3	2.5	
	경도 (HRC)	30-58	66	
내구도	프레스금형	50 만회	300 만회	모터 코어 금형
	사출금형	5 만회	30 만회	TV 코어금형
표준화		주문 생산	표준품 양산 공급	핀 부위 스프링등

싱가포르가 최근 장비 및 기술 도입을 통해 금형 경쟁력이 향상되어 약진중이다. 특히 삼성 등 국내 전자업계의 주요 구매선으로 등장하고 있으며 모델의 단기 변화에 따른 금형의 수요 및 조기 납품이 요구되고 있는 국내 핸드폰 시장에 대한 경쟁력이 크게 부각되고 있다. 자동차, 가전용 금형의 경우, 다품종 소량생산체재로 전환 중이며 금형 조기 납품 대응 및 핸드폰 가공 등에 의해 국내 고속 가공기 수요가 매우 높다. 일본의 경우, 금형의 저가 생산, 단기 납기를 위해 한국, 중국, 동남아로 이전되다가 최근 저가금형 소재 + 코팅 기술을 활용함으로 다시 경쟁력이 확보된 고급품의 경우, 일본내 생산이 증가하고 있다. 결국, 일본 시장을 토대로 살펴본 금형 시장의 동향을 보면, 단납기와 코스트다운을 통한 품질 경쟁력 확보가 중요한 것으로 나타났다. 표 5에 한, 일 양국의 금형 수준을 표시하였는데, 금형가공 수준에 있어서는 오히려 앞선다는 이야기도 있지만, 내구성에 있어서 아직 문제점이 많은 것으로 나타나며 결국, 고품질 열처리, 표면처리 기술에 관심이 필요한 시점을 나타낸다.

PVD 코팅 시장을 살펴보면, 공구 관련 세계코팅시장 규모는 연간 6000천억으로 절삭공구, 초경엔드밀 및 초경 드릴시장으로 나뉜다. 밀착력 향상을 위하여 PBII 기술이 출현하였으며 플라스틱 금형에서 이형성 및 표면거칠기 개선을 위해 DLC 적용 시장이 증대중이다. 플라스틱 및 다이캐스팅 금형의 산질화 시장이 증대중이다. 시장이 증대되고 있는 알루미늄 프레스 성형시장에서 금형에 대한 DLC 납기 원가 경쟁력 부여를 위해 저급 소재 사용 및 표면 개질이 요구되고 있다. 특히, 1조 이하의 작은 시장의 확대를 위해서 자동차 및 금형에 대한 적용의 확대를 위한 연구와 물성 극대화 및 복합 특성 구현을 위한 나노구조코팅 및 복합열처리의 중요성이 증대되고 있다. 특히 공구 및 금형의 수명 향상을 위한 나노코팅에서는 구성상 및 구조, 결정립크기, 계면성질 등에 의해 물성이 결정되며 현재까지 연구 동향을 살펴보면, TiAl/TiCr/TiAlCr 합금계에 Si, B, Y 등의 불용성 원소 첨가를 통해 결정립을 10 nm 미만까지 미세화하는 기술, 1000°C 이상까지 내산화 온도 향상 기술, 50 GPa 이상의 초고경도화 기술, 0.01 이하의 초저마찰계수화 기술이 주요 논제이다. 나노코팅기술에서 다양한 합금원소를 이용한 타겟 제조가 어렵고, 따라서, 나노 코팅용 타겟은 기존 제품에 비해 10배 이상의 가격을 받고 있다. 그림 6과 같이 AIP + 스퍼터링을 복합화한 복잡한 장비 제작이 필요하며 이 경우도, 세가지 원소이상의 복합화 어려기 때문에 관련 재료가 전량 수입중이며 따라서 외산 고가 장비의 수입이 급증하는 추세이다.

– 다음호에 계속 –