

논문

용융 알루미늄 합금에 의한 다이캐스팅용 금형강의 용손거동

배상호 · 강복현 * · 김기영 *† · 김도향 · 최건 ** · 최배호 ***

연세대 대학원(현 삼성전자), *한국기술교육대학교,
전 한국생산기술연구원, * (주)CJC

Wear Behavior of Die Steel in Molten Aluminum Alloy

Sang-Ho Bae, Bok-Hyun Kang*, Ki-Young Kim*†, Do-Hyang Kim,
Gun Choi**, and Bae-Ho Choi***

Dept. of Metallurgical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea
*Dept. of Materials Engineering, Korea University of Technology and Education, Choengan 330-708, Korea
** Korea Institute of Industrial Technology, Incheon, 406-800, Korea
*** CJC Co. Ltd., Ansan 425-110, Korea

Abstract

Wear test on two die steels for aluminum die casting was carried out by dipping and rotating the specimens into the molten aluminum maintained 680°C~780°C. The rotating speed of the specimen was 4.5 rpm~20.0 rpm. Diffusion layer was formed between the die steel and molten aluminum, and became thicker with dipping time. Wear rate was not proportional with the thickness of the diffusion layer, but was closely related to the density of the diffusion layer. Wear rate was little affected by the kind of die steel and by the microstructure such as martensite, tempered martensite, and pearlite. Specimen with nitrided surface showed good wear resistance, and its wear rate was decreased with increase in the thickness of nitrided layer. While whole surface was worn in heat treated specimens, wear of nitrided specimens was proceeded by pitting partially.

Key words : Wear, Die steel, Diffusion layer, Nitrided layer

(Received March 21, 2008 ; Accepted May 16, 2008)

1. 서 론

지구기후변화의 주 원인이 되는 탄소 배출량을 줄이기 위한 효율적인 방안의 하나로 경량자동차 부품의 사용이 증가하고 있는데, 이에 따라서 자동차부품의 양산체제에 가장 적합한 공법인 다이캐스팅의 생산량도 증가하고 있는 추세이다. 다이캐스팅 중 대부분을 차지하고 있는 알루미늄 다이캐스팅의 양산에서 해결하여야 할 과제 중의 하나가 금형의 수명연장방안이다. 다이캐스팅금형은 단시간 내에 가열, 냉각이 반복되므로 이로 인하여 발생하는 열간균열(히트체크)[1]과 금형과 알루미늄 용탕과의 반응에 의한 용손이 금형 수명의 단축원인으로 알려져 있다. 금형구성요소 중 슬리브, 코어핀 및 게이트 등에서는 알루미늄 용탕에 의한 용손이 주된 손상기구라고 보고되고 있다 [2,3]. 특히 깊은 중공 부위의 성형에 쓰이는 길이가 긴 코어 부위는 열이 집중되므로 용착[4]과 용손이 발생하기 쉬워서 보수를 위한 추가의 작업이 필요하고, 제품의 치수정도에 영향을 미치게 된다. 용손대책으로는 보다 내열성이 좋은 금형재료로의 변경[5], 표면 쇼트처리[6], 내열성재료의 코팅[7,8] 등의 방법이 알려져 있으나, 보다 효율적으로 대처하기 위해서는 금형재

질에 따른 용손의 원인 규명이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 가장 일반적인 알루미늄 다이캐스팅 재료인 범용 열간공구강(KS-STD61과 SKH51) 시편의 알루미늄합금(KS-ALDC 12종)용탕에서의 용손 거동을 용탕 온도와 시편의 용탕에서의 회전속도를 변수로 하여 용손실험을 하여 그 거동을 규명하고, 가스질화처리, 이온질화처리 및 연질화처리를 한 시편을 대상으로 표면처리제의 용손기구를 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 열처리 금형강

시편은 직경 10 mm, 길이 100 mm의 봉상형 공구강으로 그 조성은 Table 1과 같다. STD61은 1040°C에서 SKH51강은 1,175°C에서 가열, 가스 냉각 후 STD61강은 580°C, SKH51강은 550°C에서 뜨임처리를 하여 뜨임마텐사이트 조직을 가지도록 하였고, 시편은 열처리 후 연마하여 매끈한 표면을 가지도록 하였다. 또한 조직의 차이에 따른 내용손성의 차이를 조사하기 위하여 뜨임 마텐사이트 조직 외에 마텐사이트와 펄라이트 조직을 가진 시편에 대해서도 용손실험을 하였다. 사용한

†E-mail : simha@kut.ac.kr

Table 1. Chemical compositions of STD61, SKH51 and ALDC12(wt%).

Alloy	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V	Fe
STD61 (KS D3753)	0.32~0.42	0.8~1.2	< 0.5	< 0.03	< 0.03	4.5~5.5	1.0~1.5	-	0.8~1.2	bal.
SKH51 (KS D3522)	0.8~0.9	<0.4	< 0.4	< 0.03	< 0.03	3.8~4.5	4.5~5.5	5.5~6.7	1.6~2.2	bal.
Alloy	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al	
ALDC12 (KS D6006)	2.3	9.9	0.28	0.91	0.72	0.15	< 0.05	< 0.01	bal.	

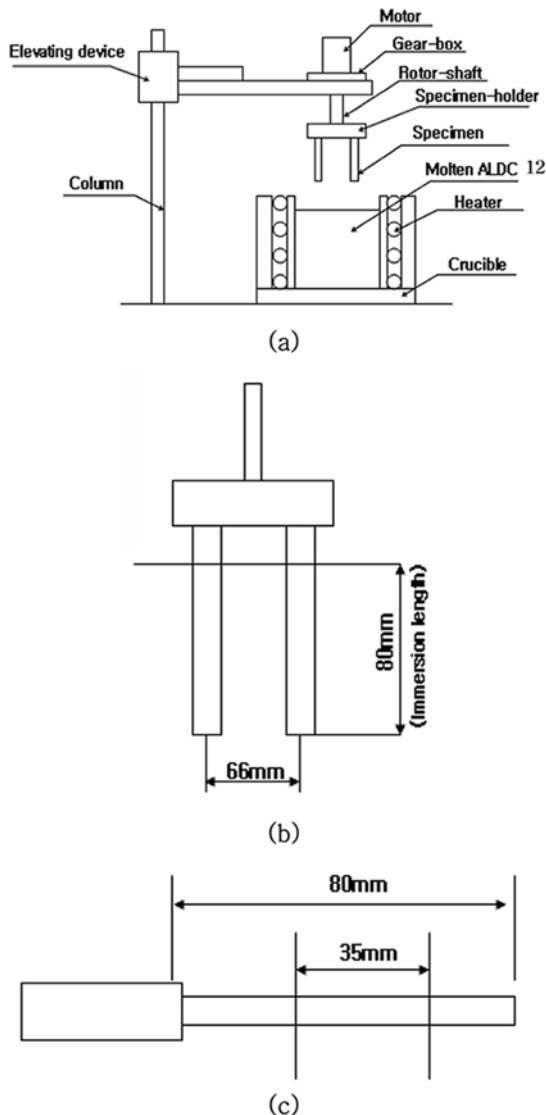


Fig. 1. Schematic drawings of (a) apparatus for wear test, (b) test specimens, and (c) observed part of specimen.

알루미늄합금용탕은 가장 일반적인 다이캐스팅용 알루미늄합금인 ALDC 12종으로, 실험에 사용한 합금의 조성 분석치는 Table 1과 같다.

2.2 표면처리 금형강

열처리한 시편의 표면에 연질화처리(Tuffride처리)를 하여 2 μm와 8 μm의 두께로 질화층을 형성시켰다. 이후 2 μm 두께의 질화층을 갖는 시편을 TFT(A), 8 μm의 두께를 갖는 시편을 TFT(B)라고 표현한다. 질화처리방법에 따른 내용손성을 조사하기 위하여 가스질화처리법 및 이온질화처리법에 의해서도 STD61강의 표면에 질화층을 형성시켜 용손시험을 하였다. 연질화처리에 의한 내용손성효과와의 비교를 위하여 가스질화처리재는 TFT(A)와 비슷한 두께의 2 μm 두께의 질화층을 형성시켰으며, 이온질화처리재는 TFT(B)와 비슷한 두께의 8 μm 두께의 질화층을 형성시켰다. 질화처리된 시편은 표면에 질화층 외에 확산층이 존재하였는데, 이는 표면에서부터 마이크로 비커스경도의 측정을 통하여 확인하였다. 확산층은 표면처리의 영향을 받지 않은 내부에 비해 높은 경도를 나타내었는데(처리방법에 따라서 내부는 500~600 HV, 표면은 700~1,050 HV), 질화방법에 따라서 경도의 차이는 있었으나 대체로 두께 200 μm전후의 확산층이 관찰되었다.

2.3 용손시험

용손시험은 흑연도가니에서 용해된 후 680~780°C의 온도로 유지된 3.5 kg의 알루미늄 용탕에 시편을 침지시킨 후 침지시간에 따른 용손량을 측정하였다. 이 때 교반효과를 주기 위하여 시편을 용탕 내에서 회전시켰다. 실험에 사용된 장치는 Fig. 1 (a)와 같은데, Fig. 1 (b)와 같이 원형홀더에 시편을 부착하여 홀더의 회전을 통하여 시편의 회전을 조절하였다. 용탕 내에 80 mm의 깊이로 침지된 시편은 직경 66 mm의 원을 그리며 4.5, 12.0, 20.0 rpm의 회전속도로 회전되었다. 정해진 조건에서 용손시험이 끝나면 NaOH 30% 수용액에서 알루미늄 합금을 녹여 낸 후 용손량을 측정하였다. 용손량은 Fig. 1 (c) 처럼 침지부위 중 일부를 절단한 후 다음 식으로 구하였다.

$$W_s = (W_0 - W) / A$$

Ws : 단위 표면적당 중량감소량

W₀ : 침지전의 중량

W : 침지후의 중량

A : 표면적

2.4 조직 및 성분분석

알루미늄 합금용탕에 침지된 철계 시편은 용탕과 반응하여 금속간화합물을 형성시키므로, 이를 확인하기 위하여 금형강의 표면에 부착된 알루미늄 층을 얇게 분리하여 가루로 만든 후 XRD분석을 하였다. 또한 표면 층에 존재하는 원소의 확인을 위하여 침지 시험된 시편의 표면에서부터 주요원소들에 대해 EDX 선분석을 하였다.

3. 실험 결과

3.1 열처리강의 용손거동

Fig. 2는 STD61강을 680°C에서 4.5, 12.0, 20.0 rpm의 시편회전속도로 30분 및 1시간 동안 용손시험을 한 결과이며, Fig. 3은 780°C에서 1시간 용손 시험을 한 결과를 나타낸다. 침지시간의 증가에 따라서 용손량은 증가하고 있고, 시편의 회전속도가 빠를수록 용탕의 온도가 높을수록 용손량은 증가하고 있다.

Fig. 4는 STD61강을 680°C, 4.5 rpm에서 15시간까지 장시간 침지하여 얻은 결과이다. 침지시간이 길어질수록 용손량의 증가세가 점점 감소되는 추세를 나타내고 있다.

Fig. 5는 시편을 열처리하여 각각 뜨임 마텐사이트, 마텐사이트, 펄라이트의 세 조직을 가지도록 한 시편을 680°C, 4.5 rpm의 회전속도 하에서 용손실험한 결과로, 뜨임 마텐사이트 조직 시편이 가장 용손량이 적게 나타났으나, 큰 차이를 보이지 않은 것으로부터, 열처리에 의한 조직의 변화만으로는 현저한 내용손성의 개선은 기대하기 어려움을 알 수 있다.

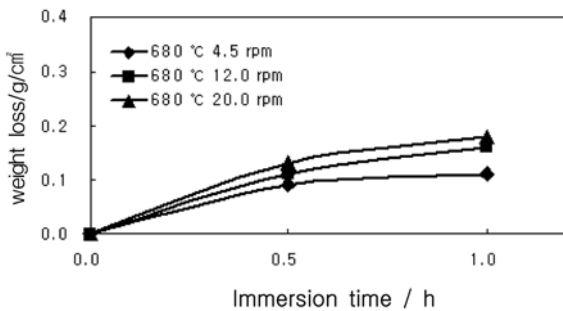


Fig. 2. Variation of weight loss with time at 680°C for STD61 specimens.

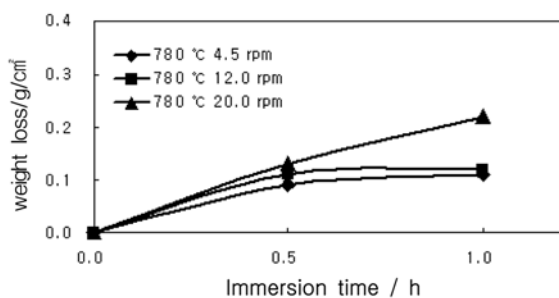


Fig. 3. Variation of weight loss with time at 780°C for STD61 specimens.

금형강의 성분의 차이에 의한 내용손성의 변화를 보기 위하여 STD61강에 비하여 내용손원으로 알려진 Mo와 W가 많이 함유된 SKH51종의 용손량을 측정하였는데, Fig. 6은 SKH51강을 680°C, 4.5 rpm에서 용손량을 측정한 뒤 STD61강의 용손경향과 비교한 것이다. 초반에는 용손량이 STD61강보다 SKH51강이 약간 적었으나 장시간 침지할 경우에는 비슷한 용손량을 나타내고 있다. 각각 9시간, 7.5시간 침지하였던 STD61강과 SKH51강의 시편의 계면부근에서의 Al, Fe, Si, Cr, W 등의 농도변화를 EDX 선분석한 결과, 계면 부근에서 특별히 높은 농도를 나타내는 부분은 관찰되지 않았다. 특히 STD61강에는 거의 포함되지 않고 SKH51강에만 함유된 W의 경우도 계면부근에서 높은 농도의 지역을 나타내지는 않은 것으로부터 금형강의 화학조성의 차이에 따른 용손량의 변화는 뚜렷하지 않음을 알 수 있다.

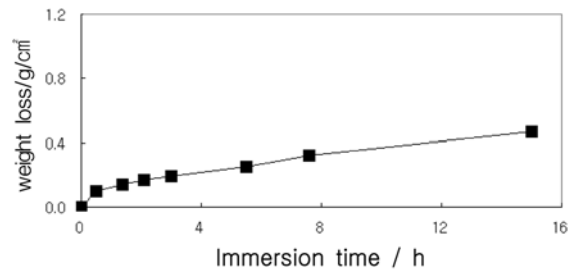


Fig. 4. Variation of weight loss of STD61 specimen with time at 680°C, 4.5 rpm for 15hours.

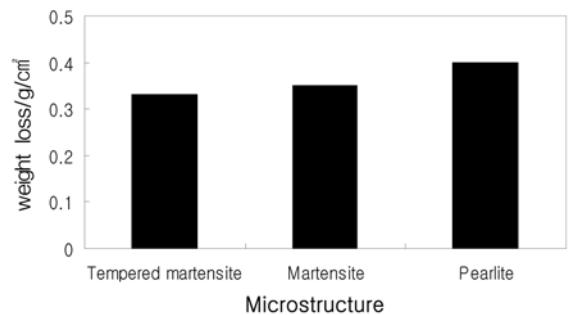


Fig. 5. Weight loss of various heat treated specimens.

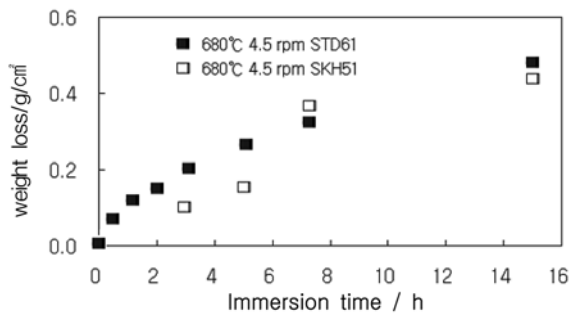


Fig. 6. Variation of weight loss with time for STD61 and SKH51 specimens.

3.2 확산층의 영향

STD61강과 SKH51강의 시편을 680°C, 4.5rpm에서 침지하였을 때, 강과 용탕과의 계면에는 용탕과 금형강과 반응하여 Fig. 7과 같이 확산층이 관찰되었다. Fig.8은 15시간까지의 침지한 STD61강과 SKH51강의 확산층의 두께의 변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. 거의 직선에 가까운 증가경향을 STD61강에서 볼 수 있었으며 SKH51강도 비슷한 경향을 나타내었다. XRD분석을 행한 결과 확산층의 화합물은 주로 Fe₄Al₁₃로 확인되었다.

확산층의 증가가 용손을 제어하는지를 확인하기 위하여 780°C의 고온조건과 20 rpm의 고속의 회전조건 하에서의 확산층의 변화와 용손특성을 관찰할 후 680°C, 4.5 rpm의 경우와 비교하여 보았다. Fig.9는 780°C의 고온조건에서 침지한 시편의 EDX 분석 결과인데, 확산층은 형성되었으나 680°C에서 침지한 시편에서 생긴 확산층보다 치밀하지 않음을 알 수 있다.

Fig. 10은 시편의 회전속도에 따른 확산층의 두께 변화를 나타낸 것으로, 저속에서는 침지시간에 따라서 확산층의 두께가 증가하였으나, 고속에서는 일정시간 경과 후 확산층의 두께가 감소하고 있다. 확산층이 계속적인 증가를 보인 680°C, 4.5 rpm의 경우 침지시간이 증가할수록 용손속도는 감소하였으나,

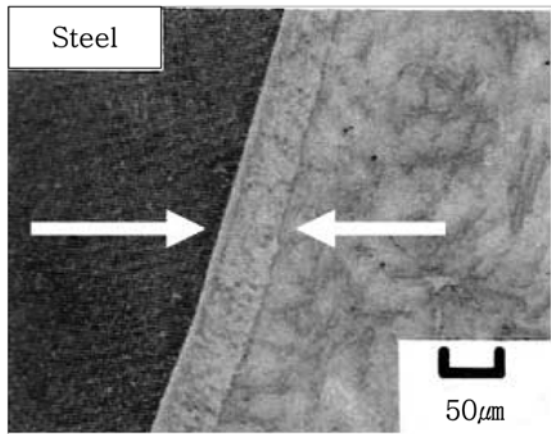


Fig. 7. Diffusion layer between the die steel and molten aluminum.

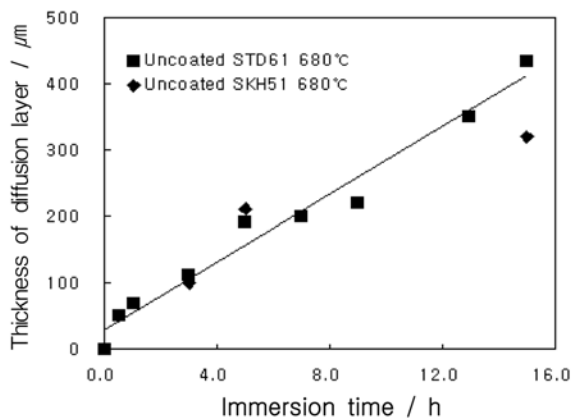


Fig. 8. Variation of thickness of diffusion layer with time.

20 rpm 시편의 경우는 피크를 나타낸 후 감소하였는데, 이로부터 치밀한 확산층의 두께와 치밀함이 용손량에 영향을 미침을 알 수 있다.

3.3 표면처리된 STD61강의 용손거동

Fig. 11은 680°C, 4.5 rpm의 조건에서 7.5시간 동안 알루미늄 합금 용탕에 침지한 표면처리된 시편 4종류(TFT(A), TFT(B), 이온질화, 가스질화처리시편)의 용손량을 표면처리하지 않은 STD61강과 비교하여 나타낸 것이다. 질화막의 두께가 1.5~2 μm였던 가스질화처리재나 TFT(A)는 무처리금형강에 비하여 내용손성에서 큰 차이를 보이지 않았으나, 8 μm두께의 질화막을 가졌던 TFT(B)와 이온질화처리재는 확실하게 우수한 내용손성을 나타내었는데, TFT(A)의 용손량이 최소값을 나타내었다.

각 시편의 7.5시간 침지 후 표면을 현미경으로 관찰한 결과, TFT(A)와 가스질화처리재는 전면에 걸쳐 용손이 진행되었으나, TFT(B)와 이온질화처리재의 경우는 용손이 전면적으로 진행되지 않고, 일부에서만 피트형으로 용손이 진행되고 있음을 알 수 있었다. 주사전자현미경(SEM)으로 용손실험 후의 표면부위의 모습을 관찰한 결과, 확산층이 관찰되었던 TFT(A)와 가스질화처리재에서는 질화층을 발견할 수 없었으나, 가장 우수한 내용손성을 보였던 TFT(B)에서는 Fig. 12과 같이 명확한 질

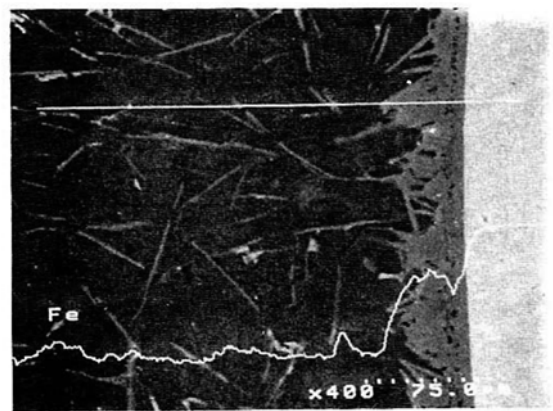


Fig. 9. EDS analysis of interface area between the die steel and aluminum at 780°C.

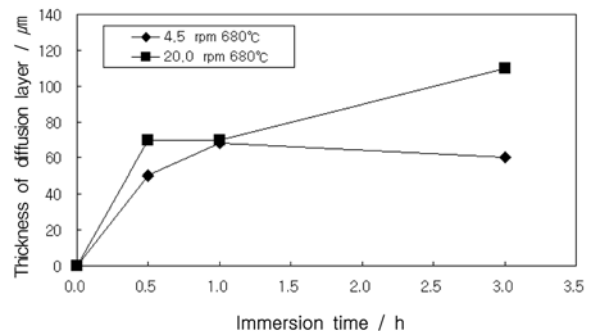


Fig. 10. Variation of thickness of diffusion layer at 680°C.

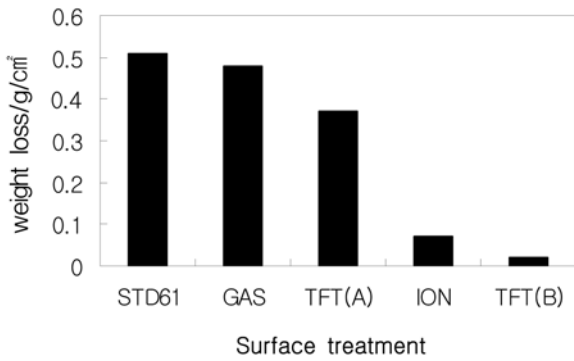


Fig. 11. Comparison of weight loss in uncoated and surface-treated STD61 specimens.

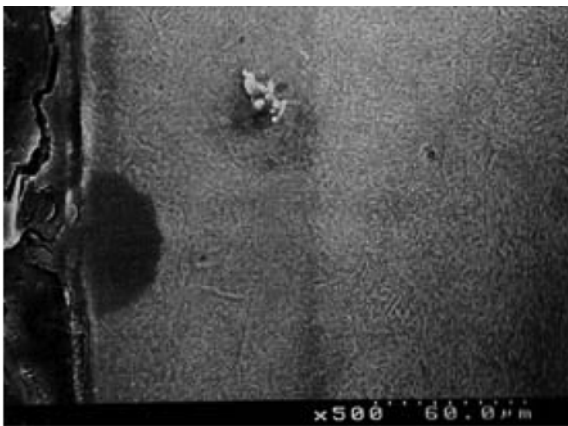


Fig. 12. SEM photograph of the interface of TFT(B) specimen after immersion for 450 minutes.

화층이 피트형으로 진행되는 용손부위 옆에서 바로 관찰되었는데, 이로부터 질화층이 내용손성 향상에 효과가 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

1) 680°C의 용탕에서 4.5 rpm의 속도로 회전시키면서 침지시킨 금형강의 표면에는 빠른 시간 내에 금형강과 알루미늄 용탕의 반응하여 확산층이 생겼는데, 이는 주로 Fe₄Al₁₃로 확

인되었다. 이 확산층은 시간이 지남에 따라 거의 직선적으로 그 두께의 증가를 보였다. 용손량은 확산층의 두께보다는 치밀함에 의한 영향이 더욱 컸는데, 치밀한 확산층의 증가는 시편의 용손속도를 감소시켰다.

2) Mo와 W의 함량이 많아서 더 우수한 내용손성이 기대되었던 SKH51강의 용손량은 STD61강의 용손량과 비슷하였던 것으로부터 금형강의 화학조성의 영향은 크지 않음을 알 수 있었다. 또한 열처리 조건으로 조직의 변화를 준 경우에도 내용손성강화효과를 관찰할 수 없었다.

3) 표면처리한 시편의 용손량은 표면의 질화물 두께가 두꺼울수록 감소하였고, 용손도 전면 용손이 아닌 피트형으로 진행됨을 관찰할 수 있었는데, 이로부터 표면의 질화물층이 알루미늄 용탕으로부터의 용손을 감소시키는데 효과가 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] H. Ishikura, M. Kitamura, and H. Suganami: Transactions of Japan die casting congress, "Countermeasures to heat cracking of aluminum die casting mold", (2002) 25-34.
- [2] G. Goodrich: Transactions, 16th NADCA International Die Casting Congress, "Aluminum die casting shot sleeves", (1991) 201-207.
- [3] Y. Chu, P. Cheng, and R. Shivpuri: Transactions, 17th NADCA International Die Casting Congress, "A study of erosive wear in die casting dies", (1993) 199-208.
- [4] Z. W. Chen: Materials Science and Engineering, "Formation and progression of die soldering during high pressure die casting", A397 (2005) 356-369.
- [5] Y. Tamura and H. Wakakuwa: Transactions of Japan die casting congress, "Pre-hardened Tool steel for die, E-DAC", (2002) 13-18.
- [6] J. V. Skoff: Die Casting Engineer, "Understanding Residual Stress Effects and Corrective Action for Die Casting Tools-Part I", 50(9)2007, 36-40.
- [7] J. Lin, S. Myers, B. Mishra, J. J. Moore and P. Ried: Die Casting Engineer, "Optimization of a Graded, Multi-Layer Die coating System for use in Al Pressure Die Casting", 50(11) 2007, 30-36.
- [8] J. Lin, S. Carrera, A. O Kunrath, D. Zhong, S. Myers, B. Mishra, P. Ried, J. J. Moore: Surface & Coatings Technology, "Design methodology for optimized die coatings: The case for aluminum pressure die casting", 201(2006) 2930-2941.