

## 열간금형의 수명향상을 위한 히트체크 저감 방안

李正植

榮豐熱處理

### Reducing of Heat Check Formation for the Longevity of Heat Resistant Die

Jeong Shik Lee

Youngpoong Heat Treatment co.

#### 1. 머릿말

열간금형을 사용 중 작업 여건이 맞지 않아 일어나는 금형의 조기파손의 원인으로는 마모, 소착, 용손, 용착, Heat Check 등이 있으며, 특히 Heat Check이 열간금형의 수명결정에 가장 큰 인자이다. 최근의 금형수명과 히트체크관계 결과를 보면 금형수명은

$$L \propto \{\sigma / (\alpha \cdot E \cdot \Delta T)\}^8$$

여기서  $\sigma$ : 인장강도

$\alpha$ : 열팽창계수

E: 탄성계수

$\Delta T$ : 금형표면의 온도구배로 용탕주입시와 이형제로 냉각시의 온도차이

이 실험식결과에 따르면 수명향상을 위해서는 금형재의 물성과 예열의 중요성을 알 수 있다. 즉 예열 온도를 100도 정도 높이면 금형의 수명은 수십배 증가됨과 잔류응력을 제거하기 위한 응력제거 열처리의 중요성을 알 수 있게된다.

AI 다이캐스트에서는 금형 설계시 금형의 주조방안으로 탕구, 탕도, 라이저의 모양, 크기, 용탕의 원활한 흐름, 용탕의 온도조절, 냉각수의 원활한 흐름, 냉각수에 의한 금형의 표면 온도조절, 냉각관의 크기와 분수 등을 고려하여 설계하고 사용 중 또는 사용 후 다음 작업을 대비한 냉각관내의 녹제거 등

관리에 소홀함이 없어야 금형의 충분한 수명을 얻을 수 있을 것이다.

단조금형에서도 금형 자체의 온도 관리의 문제로 이상연화 현상을 일으켜 소성변형, 이상마모, 열피로, 기계적 피로 등을 일으켜 금형의 수명을 단축되게 되는 것을 자주 보게 된다.

이러한 문제를 갖고 있는 상태에서 추천 되는 각종 표면처리를 실시해도 사용회수가 연장되지 않는다. 즉, 표면처리를 하더라도 별 효과가 없다고 할 것이다.

따라서 먼저 앞에서 이야기 한 관리포인트에 잘 따르면서 표면처리를 실시하면 보다 수명을 연장할 수 있다.

본고에서는 현실을 감안하여 금형설계, 재료의 선택, 금형의 제작, 열처리, 주조과정에서 이형제의 도포문제, 금형의 관리 등에 대하여 기술하고자 한다.

#### 2. 금형의 이상연화의 문제

##### 2.1 고온특성

열간금형용 강에서 SKD6, SKD62, SKD4의 고온에 있어서 경도 변화를 그림-1에 표시하였다.

고온 경도는 어떠한 강종도 온도의 상승과 같이 저하하며 400°C 이상의 온도 영역에서는 3강종간의 차이가 생긴다.

그림에서와 같이 경도는 SKD4가 가장 높고, SK62가 다음이고 SKD6이 가장 낮다.

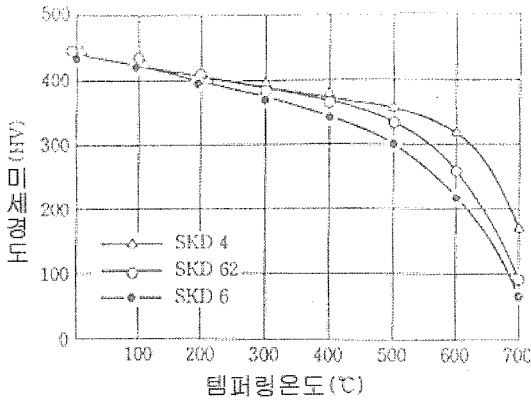


그림 1. SKD6, SKD62, SKD4의 고온경도.

표 1에는 여러 가지 열간금형용 강의 상온 및 600°C에서의 경도를 나타내었다.

상온 경도에 대하여 600°C에서의 경도 저하율은 표 중에서 나타낸바와 같고 이보다 고온에서는 연화가 더 빠르게 일어난다.

연화저항은 표 중에 나타낸바와 같은 순위가 되고 Cr-W 계의 SKD4, SKD5 가 가장 우수하고, 3Cr-

Mo 계의 DH71, DH72가 좋고, 5Cr-Mo-W계의 SKD62와 5Cr-2Mo 계의 DH21, 5Cr-Mo계의 SKD6, SKD61의 순으로 저하하여 제일 나쁘다.

표 1에서와 같이 상온 정도에서 금형이 600°C로 되었을 때는 경도가 낮아지고 고온경도가 낮아진 것은 연화가 된 것을 나타내므로 연화저항이 낮은 소재는 Heat Check가 일어나기 쉬워 금형의 수명이 짧아진다.

표 2는 열간금형용강의 상온과 600°C에 있어서 인장 특성과 샤르피 충격치를 나타낸 것이다.

표 2에서와 같이 인장강도 값이 600°C에서 낮아졌다고 하는 것은 고온에서 경도 값이 낮아진 것을 의미하는 것이고 경도가 낮아진 것은 연화가 되었다는 것이다.

## 2.2 내연화성

그림 2는 퀴칭 템퍼링 정도 HRC47의 SKD62 시료를 500~700°C의 각 온도에서 가열 유지 하였을 때의 시간에 대응하는 상온 정도, 변화를 나타낸

표 1. 열간금형용 강의 고온 연화저항성의 비교

강종	①. 상온경도 (HV)	②. 600°C 경도 (HV)	③ = ① - ② 경도저하 (HV)	③ ÷ ① 저하율 (%)	고온연화저항 순위
SKD6	440	230	210	48	6
SKD61	444	232	212	48	6
DH21	445	240	205	46	5
SKD62	447	250	197	44	4
SKD4	445	325	120	28	2
SKD5	421	322	99	24	1
DH71	446	259	187	42	3
DH72	448	260	188	42	3
DH75	425	231	194	43	5

표 2. 열간금형용 강의 상온 및 600°C 에 있어서의 기계적 성질

강종	인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> )		항복강도 (kg/mm <sup>2</sup> )		신율 (%)		조임 (%)		샤르피 값 (kg.m/cm <sup>2</sup> )		시험편의 상온경도 (HRC)
	상온	600°C	상온	600°C	상온	600°C	상온	600°C	상온	600°C	
SKD6	157	104	137	95	12	16	48	67	4.5	6.0	45.0
SKD61	145	97	132	90	7	12	44	73	4.1	4.8	44.0
DH21	164	103	143	93	15	20	55	67	5.0	8.2	47.0
SKD62	157	114	142	102	7	12	38	50	4.1	6.0	46.0
SKD5	160	118	139	107	12	12	45	50	3.5	4.0	47.0

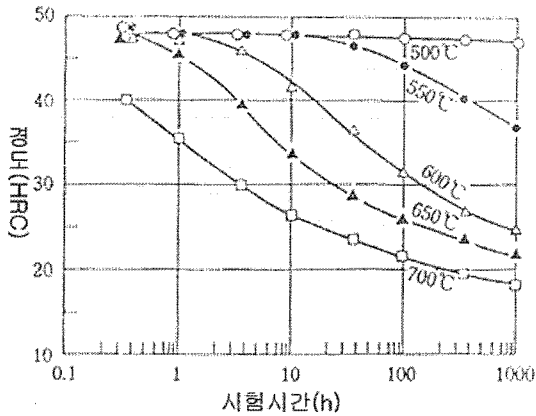


그림 2. SKD62를 시간-온도별 경도변화.

500°C에서는 1,000시간이라도 변화하지 않고 550°C에서는 10시간을 초과하면 연화가 시작된다.

600°C에서는 1시간 이후, 650°C에서는 0.4시간 이후, 700°C에서는 0.32시간 만에 크게 연화 되고 있다.

이와 같이 고온이 될 수록 연화는 짧은 시간에 일어나는 것을 알 수 있다. 실제로 열간금형강에서는 금형의 표면이 고온의 피가공물에 접하므로 장시간 사용하고 있는 것과 같은 연화현상이 일어난다. 따라서 히트체크가 발생하게 되는 열응력치와 반복적인 열변형과 관계가 큼을 알 수 있다.

그림 3은 SKD61, DH21, SKD62, DH71의 시료(퀸칭, 템퍼링, 경도 HRC47)를 600°C로 가열

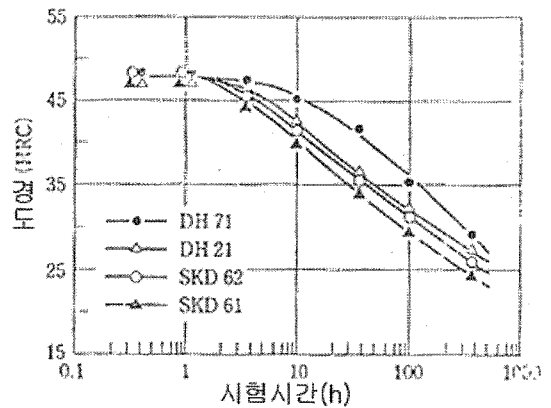


그림 3. 강종별(경도 HRC47) 600°C로 가열 유지한 경우 시간별 경도의 변화.

유지 하였을 때 상온 경도와 시간의 관계를 나타낸 것이다.

5Cr계의 SKD61, SKD62, DH21에서는 3.2시간에서 연화가 시작하지만 3Cr 계의 DH71에서는 이 시간에는 아직 연화가 일어나지 않는다.

그러므로 내연화성은 DH71이 뛰어나게 우수하고 DH21, SKD62, SKD61의 순으로 저하한다.

표 3에서와 같이 용탕온도가 620~780°C의 고온이고 금형은 용탕과 이온도에 접하게 되고 이형제도포시는 급냉되므로 열적 부하가 가혹하고 열피로(Heat Check)나 용손 용착 현상이 일어나게 된다.

따라서 Al 다이캐스트 금형은 히트체크 대책이 중

표 3. Al 다이캐스트금형의 용도별 형제 선택 기준

용도	용탕온도	문제점	적용형제	경도	표준퀸칭온도
내마모 Al 용형 (Si > 11%)	750~780°C	용손 HeatCrack (열소성변형)	YHD 45	HRC 47~52	1070 °C
정밀형 (OA 기기등) ADC12	680~730°C	용손 초기 Heat Crack 에 의한 표면거칠음.	DAC10 S	HRC 47~50	1020~1030°C
대물형 700 × 1000 × 1200 ADC12	620~660°C	조기 모서리 깨짐 Crack 발생 → 진진	DAC4	HRC 42~45	1020°C
표면중요시 일반형 ADC12	620~660°C	초기 Heat Crack 에 의한 표면거칠음.	DAC10S, DAC 4, DAC(SKD61)	HRC 44~49 (DAC4 는 높게)	1020~ 1030°C 1020°C 1020°C
일반형 ADC12	620~660°C	Heat Crack (생 → 진진) 모서리 깨짐	DAC(SKD61) DAC4(열충격대, 복잡형상)	HRC 43~47 (DAC 는 높게)	1020°C 1020°C
스퀘즈형 AC4C	680~730°C	heat Crack 조기발생과 진진	DAC10S DAC4	HRC 43~48	1020°C 1020°C

요한 문제이므로 가능하면 소재는 등방성화(等方性化), 고청정화(高淸淨化)에 의한 인성의 향상이나 쉐칭성의 개선을 기본으로 한 강종을 선택하는 것이 좋다.

AI 다이캐스트 금형이 고온에 접하는 시간이 누적되면 히트체크를 일으키기 쉬울 뿐 아니라 앞에서 말한 금형 설계시나 제작과정에서 주의해야 할 사항을 엄수하여야 한다.

금형을 제작할 때 금형 표면온도가 500°C 이상 상승하지 않도록 설계하여 이상연화 현상이 일어나지 않게 하여 히트체크가 발생되지 않게 함으로 수명 연장이 가능하다.

### 3. 이형제의 도포에 따른 문제

AI 다이캐스트 금형에서 수용성 이형제의 효율적인 도포방법은 용탕온도가 620~780°C에 달하며 금형에 효율적인 냉각수의 냉각관의 배열이 되어있다면 수용성 이형제가 기화되지 않고 금형 표면에 잘 붙겠지만 금형의 표면 온도가 수용성 이형제의 물이 기화하여 수증기화 되면 이형제는 기능을 상실하게 되며 용손이나 용착이 일어나고 금형의 표면 온도도 상승하여 이상 연화하여 열피로를 일으키며 히트체크를 일으키게 되며 역시 수명이 단축된다.

### 4. 주조방안 (鑄造方案)에 대한 고려

AI 다이캐스트 금형에 있어서 탕구, 탕도, 라이저의 설계는 성형성이나 양품율(良品率)에 직접 영향을 미치고 또 작업 중의 금형의 강성(剛性)과 제품의 후가공의 공수에도 영향을 미치는 중요한 요인이 된다.

주조기의 가동률에 미치는 핵심은 탕구, 탕도, 라이저의 설계에 있어서 형상에 대하여 Cavity 내의 용탕이 충분히 충전되는 것만이 주목하고 있으나 용탕의 흐름을 어떻게 하면 어떤 부위에서 잠시라도 고여 있는 일이 없이 원활하게 진행하는가에 따라 금형의 표면에 고온의 용탕과 접하게 되어 금형이 연화현상을 일으키게 된다.

일반적으로 탕도에서 제품으로 용탕이 들어가기 전에 라이저가 있는 곳은 턱이 있고 얇게 되어 있다. 이 부위를 보면 냉각수가 통하지 않으므로 열을 많

이 받아 빠른 속도로 연화되며 제일 먼저 용손이 발생하고 히트체크가 발생하여 용탕의 흐름이 나빠지며 제품에도 영향을 미치게 된다.

다음에는 금형내부의 냉각 회로의 설계 방법으로 주조시의 금형표면 온도를 낮추어 용손이나 용착을 방지하는 것이다.

내부 냉각을 효율적이며 신속하게 하기 위해서는 냉각관의 설치위치, 본수, 냉각관의 굵기 등의 선택에서 금형의 표면온도가 좌우됨으로 다음과 같은 항목을 검토하여야 할 것이다.

- ① 금형 Cavity 표면에서 냉각관까지의 거리
- ② 냉각관 경 (冷却管 徑)
- ③ 냉각수 유량
- ④ 냉각관 본수

여기서 냉각수 유량은 냉각수의 유속과 냉각관 단면적과의 관계가 있으므로 같은 환경에서는 냉각수 유량은 유속으로 나타나게 된다.

유속은 냉각수와 금형간의 열전달 계수(냉각수 유량)를 바꾸어 금형의 표면 온도를 표시한다.

금형의 Cavity 면에서 냉각관까지의 거리가 증가하면 냉각수/금형간의 열전달계수 즉 냉각수량을 증가하여도 금형 표면 온도는 내려가지 않는다.

그러므로 같은 열전달 계수(유속)이면 냉각관경이 클수록 금형 표면온도는 낮아진다.

이와 같이 냉각관의 본수를 증가 하였을 때 냉각수/금형간의 열전달 계수가 같으면 본수를 증가하는 것 보다 냉각관경을 크게 한 것이 금형의 표면온도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

그러므로 금형의 표면온도가 고온으로 되는 곳에 굵은 냉각관을 설치하고 금형표면 온도를 낮추어 줌으로서, 용탕의 원활한 흐름을 줌으로 용손이나 용착을 방지하게 된다. 이로써 히트체크도 방지하여 수명이 연장될 수 있다.

### 5. 냉각관내에 Scale 발생에 따른 냉각효과 저하

양산에 사용되고 있는 금형을 절단하여 냉각관내에 생긴 Scale을 확인 할 수 없으므로 금형의 밀핀 부를 사용하여 Scale 의 퇴적상태, Scale의 성분, 냉

표 4. Scale 의 열전도율

구성	열전도율 w/mk
탄산염계의 Scale	0.47~0.70
규산염계의 Scale	0.23~0.47
유산염계의 Scale	0.58~2.3
다이스강 (SKD)	23.3~34.9

각효율에 대하여 조사한 예를 보면 밀핀의 냉각구멍 내부의 선단부에는 두께 약 0.1 mm, 선단에서 10~20 mm의 곳에는 두께 약 1.0 mm의 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)를 주성분으로 한 Scale이 퇴적되어 있고 냉각 구멍의 근원부근(根元附近)에는 산화철(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)를 주성분으로 한 Scale의 퇴적이 보였다.

이것은 금형의 온도가 고온이 되는 부분은 탄산염계(炭酸鹽系), 저온부는 철산화물계(鐵氧化物系)의 Scale이 퇴적되어 있어 냉각 효과를 저하시키는 원인이 된다.

금형 온도가 높은 부분에는 냉각관내에서 물의 비등(沸騰)이 일어나고 물에 용존(溶存)되어 있는 광물이 석출(析出)되어 부착한 것이라 추측된다.

표 4에 Scale의 주성분으로 되어 물질의 열전도율을 표시하고 있으나 다이스강의 1/50~1/100 정도의 낮은 전도율을 표시한다.

1 mm 두께의 탄산염계의 Scale이 금형두께 50 mm에 상당하고 이것은 냉각관을 실제로 설치한 위치에서 새로 50 mm 정도 Cavity면에서 떨어진 것과 같으며 소량의 Scale의 퇴적이라도 냉각 효과를 현저하게 저하시킨다.

또 냉각관 내경이 좁아지며 냉각수 유량이 감소하여 냉각능력을 저하시키게 된다.

이렇게 되면 사용하는 금형의 표면 온도가 상승하여 수용성 이형제의 물이 기화하면서 도포가 안되며 따라서 용손이나 용착을 일으키고 히트체크가 발생하

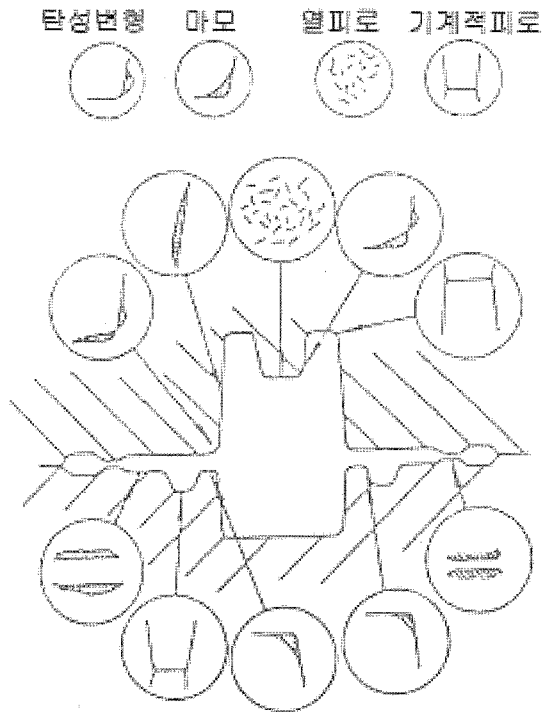


그림 4. 열간 단조 금형의 손상현상.

면서 균열로 발전하여 폐기 단계까지 도달하여 수명을 다하게 된다.

6. 열간단조용 금형의 손상현상

열간단조 기공용 금형의 손상현상은 그림 4와 같이 마모, 소성변형, 열피로, 기계적 파괴를 나타낸 것이다. 그러므로 금형재료에는 이들에 견디는 특성이 요구된다.

금형재료의 특성을 구성하는 요소를 표 5에 표시하였다.

금형용강은 공구강을 기본으로 용도에 따라 다양한 개량이 가해졌으나 고강도화나 형수명의 안정성의 면

표 5. 열간 금형재료의 특성을 구성하는 요소

구성	각종 전용강 개발, Matrix 고속도공구강, 초내열합금, 초경합금 등	
	형재 제조기술	고청정화, 응고조직억제, 특수용해, 열적 취급
열처리 기술	열처리조직제어, 가압가스냉각진공로	
특성	고온강도, 연화저항, 인성, 파괴역학적 특성	
	이용기술 표면개질	질화, CVD, PVD, 용사 등
실용성능	마모, 열피로, 변형, 기계적 피로	

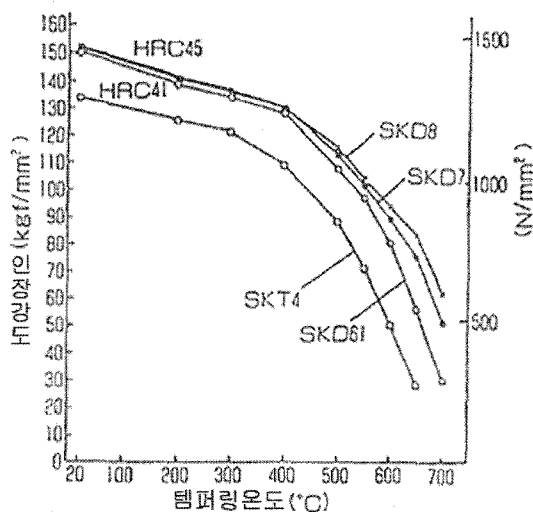


그림 5. 열간공구강의 고온인장강도.

에서 특히 파괴강도의 향상을 향상 하기 위해 다양한 노력이있어 여러 가지 개량 강종이 시장에 나와 있다.

열간 단조 금형에서 고온강도와 승온시의 연화저항이나 탄화물의 분포 형태등이 마모나 변형에 대하여 인성이 균열에 대하여, 고온강도와 인성이 필요 특성이 열피로에 대하여, 경도나 조성의 영향이 기본특성에 대하여 금형의 치수형상을 고려한 열처리조건의 영향을 밝힐 필요가 있다.

또 금형의 파괴현상을 보다 더 정확히 해석하기 위하여 피로균열, 진전특성이나 파괴 인성치 등에 대한 조사가 필요하다.

### 6.1 고온강도

그림 5는 열간공구강의 고온강도를 표시한다. 상온에서 550~600°C 부근까지의 온도역의 강도는 강종에 의한 것 보다 초기 경도에 의해 크게 좌우 된다.

탄화물의 대부분은 퀴칭에 의해 기지 중에 고용하고 템퍼링 할 때 500°C를 넘는 온도에서 W, Mo, V를 포함하는 특수탄화물을 형성하여 2차 경화를 초래하고 고온강도를 준다.

열간공구강은 템퍼링시 특수탄화물의 석출에 의해 2차 경화를 일으키고 고온강도가 부여되나 동시에 인성(韌性)이 저하한다.

2차 경화를 주는 템퍼링 온도를 초과하면 경도가 저하하기 시작하면 인성이 회복하므로 통상 2차 경화를 초과한 온도에서 템퍼링을 한다. 2차 경화에

따르는 템퍼링 취성은 Si함량을 낮춤으로 개선된다고 한다.

## 7. 히트체크를 억제하는 질화처리

열간금형강의 수명저하에는 여러 가지 요인이 있으나 가장 중요한 요인은 금형에 발생하는 히트체크이다.

히트체크는 초기에는 극미세(極微細) 균열이지만 시간이 경과함에 따라 큰 균열로 성장해 간다.

특히 Al 다이캐스트 금형에 있어서 히트체크 발생의 주 원인은 수용성 이형제의 도포와 Al 용탕에 의한 금형표면의 냉각-가열의 반복에 의한 열응력이 최대 요인이다. 질화처리에 의해 탄성계수의 증대로 열응력의 크기를 줄여 피로수명의 향상과 고온저항성이 크므로 히트체크에 대한 수명향상이 기대된다.

앞에서 말한 열간용 금형의 표면온도가 수용성 이형제의 수분이 기화가 되지 않는 경우에 질화처리를 하여야 질화 처리의 효과를 기대 할 수 있다.

이러한 문제의 해결이 되지 않은 상태에서의 질화 처리는 금형 제작비의 비용만 증가하고 히트체크의 억제에는 효과가 없다.

질화처리를 하면 확산 층과 화합물 층이 생긴다. 화합물 층이 있게 되면 박리, 굽힘 등이 일어나기 쉽고 또, 열전도가 나빠서 금형의 표면온도가 상승하게 되어 주조 초기에 금형 표면에 히트체크가 일어나기 쉽다.

그러므로 질화에 의하여 화합물 층이 생기지 않는 질화처리를 하여야 하며 만일에 생겼다면 연마로 화합물 층을 제거하고 사용하여야 한다.

Al 다이캐스트금형, 열간단조금형, Al 압출금형은 백층인 화합물 층이 생기지 않는 질화처리로 히트체크를 억제하여 금형의 수명을 연장하여야 한다.

또한 침유질화처리와 같은 방법은 히트체크, 용손, 용착 침식의 발생 방지도 하고 이형성도 개선된다.

## 8. 결 론

- 1) 히트체크의 주 원인이 반복적인 열응력 때문임으로 열처리 뿐만 아니라 설계와 공정관리도 함께 고려하면 수명향상이 훨씬 효과적으로 이루어

어질 수 있다.

- 2) 금형표면의 표면온도의 관리하기 위해서는
  - 이형제의 도포와 냉각수의 유량 관리방법을 개선하여 연화를 억제하고
  - 금형설계시에 주조방안에 대하여 세밀하고 정밀하게 가공하여야 한다.
  - 더구나 금형사용 후에는 냉각수의 냉각관 내의

퇴적되어 있는 Scale을 제거하여 열효율을 높이는 방안을 강구하여 히트체크가 생기지 않도록 억제를 하는 것이 수명 향상의 효과적인 방법의 하나임을 알 수 있다.

- 3) 이상연화 및 히트체크에 의한 손상을 줄이는 방안의 하나로 질화열처리의 중요성을 다시 확인하여 보았다.