

研削動力에 의한 Grinding Burn 檢知를 위한 기초적 研究

김 건희¹, 이 재경², 안 상욱³

A Basic Study on the Monitoring of Grinding Burn by Grinding Power Signatures

Gun-hoi KIM¹, Jae-kyung LEE², Sang-wook An³

Abstract

Grinding burn formed on the ground surface is related to the maximum temperature of workpiece surface and wheel temperature in the grinding process. The thermal characteristics of workpiece and grinding conditions on the surface temperature of the oxidation growing layer after get out of contact with the grinding wheel.

The assumption used in grinding power signatures leads to the local temperature distribution between grinding wheel and workpiece, i.e., a single curve determines temperatures anywhere within the grinding wheel at anytime. This information is useful in the study of the grinding burn penetration into the wheel and thus provides an presentation of grinding trouble monitoring for the burning. On the basis of grinding power signatures in the wheel, thermally optimum conditions are defined and controlled.

To cope with grinding burn, the use of grinding power signatures is an effective monitoring systems when occurring the grinding process. In this paper, the identified parameters suggested in this study which are derived from the grinding power signatures are presented.

Key Words; Grinding Burn, Grinding Power Signatures, Characteristic of Grinding Burn, Trouble Monitoring Systems, Workpiece Quality

1. 緒 論

연삭버닝(Grinding burn)은 加工中の 被削材와 연삭숫돌과의 접촉면에서 발생하는 加工 最高溫度에 의해서 좌우된다. 연삭가공중에 발생하는 加工溫度는 매우 짧은 시간에 순간적으로 연삭숫돌과 공작물의 干涉領域에서 발생하며, 때로는 그 발생 온도가 매우 높아 피삭재에 Burning현상을 초래한다. 특히 高硬度 工作物 加工의 경우에는 약 1500℃까지 상승한다⁽¹⁾. 공작물과 연삭숫돌사이에 발생하는 연삭온도의 분포는 공작물과 연삭숫돌의 干涉領域 내에서 切入方向으로부터 대략 1/3 지점에서 최고온도가 발생한다⁽²⁾.

이와같은 연삭열에 기인하여 가공면이 고온에서 순간적으로 酸化하여 산화막이 생기고, 막 두께에 따라서 반사광의 干涉狀態가 변하기 때문에 여러 가지로 착색되어 보이는 현상을 연삭 버닝(Grinding Burn)이라고 한다. 河村⁽¹⁾에 의하면 연

삭버닝의 정도에 의해 가공면이 變色되어, 공작물과 연삭숫돌의 接觸面の 온도가 높아짐에 따라 黃色, 黃褐色, 褐色, 紫色, 靑色, 靑白色으로 變化한다. 연삭 버닝의 발생은 연삭 다듬질면의 結晶組織, 硬度變化, 殘留應力 등에 영향을 미치며, 나아가서는 가공물의 耐磨耗性, 耐蝕性, 耐疲勞性 등에 악영향을 미친다.

본연구는 研削動力을 이용한 연삭버닝의 檢知를 위해 연삭동력 신호의 特徵을 파악하여, 분석한 데이터를 토대로 파라메타를 同定하여 연삭가공용 트러블 모니터링을 위한 基礎的 實驗을 하였다.

2. 버닝발생시의 研削動力 信號의 特徵

연삭동력의 변화는 가공시의 공작물과 연삭숫돌과의 切削力을 반영한 것으로, 동일한 加工條件에서는 연삭숫돌의 表面狀態의 변화에 따라 그 신호가 민감하게 반응한다. 이는 연삭숫돌이 自生作用이 있다고는 하나 外的負荷의 어느 限界以上에서는 粒子(Grit)의 切刃作用이 劣化되므로 銳利한

*1 창원대학교 공과대학

*2 한국기계연구원 자동화연구부

*3 인하대학교 기계공학과

粒子的 創生을 위해서는 드레싱(Dressing)해야만 한다.

Fig.1은 연삭버닝이 發生할때의 研削動力 信號의 특징으로, 연삭 Burning이 일어날 때는 연삭숫돌의 Loading 현상이 顯著해져 연삭동력이 정상 상태보다 급격히 증가 또는 不安定 상태가 됨을 알 수 있다. 그러므로 이와같은 연삭동력 변화의 특징을 모니터링함으로써 연삭 Burning이 발생하는 시점을 檢知할 수 있다.

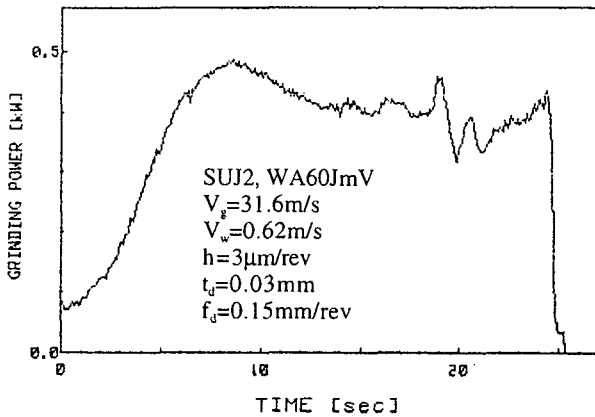


Fig.1 Characteristic of Grinding Power Signatures Occurring the Burn

3. 研削實驗 및 有效 파라메타의 同定

3.1 實驗裝置의 構成

Fig.2는 본연구를 수행하기위해 구성된 實驗裝置의 구성이다. 연삭동력의 測定은 연삭숫돌측 電動機에 Transducer를 設置하여 그 出力을 A/D Converter에 의해 컴퓨터에 入力·蓄積하고, 다른 한편으로는 Pen Recorder에 기록하였다. 또한, 加工品位의 평가를 위해서, 表面粗度의 측정은 Mitutoyo SurfTest 401 및 Mitutoyo 3D을, 眞圓度는 Mitutoyo Round Tester을, 硬度 및 殘留應力은 X-ray와 熱分析 장치인 StrainFlex MSF-2M/PSF-2M을 이용하였다.

3.2 有效 파라메타의 同定(Identification)

Fig.3은 연삭숫돌을 드레싱한 直後부터 동일한 가공조건으로 연삭가공을 했을때 연삭동력의 변화와 공작물의 표면조도와의 관계를 비교한 데이터이다. 본 결과에서와 같이 動力의 瞬間搖動(P_{flu}), 각 사이클에 대해 정해진 Sampling Time에서 잡은 데이터의 性質인 標準偏差 S_d , 각 사이클의 初期動力(공작물을 실제적으로 연삭하기 시작하는 직후의 動力)과 末期動力(Spark-out 직전

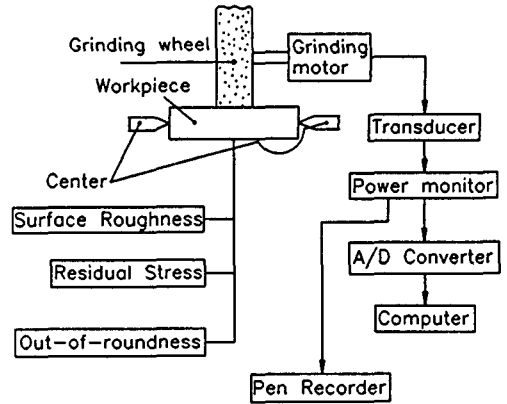


Fig.2 Experimental Set-up

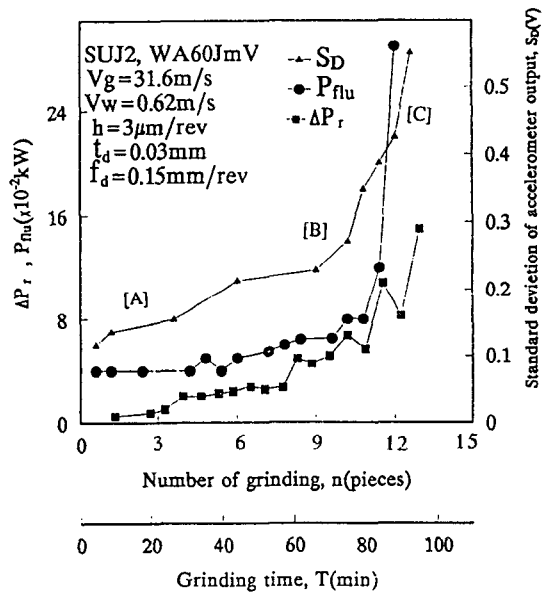


Fig.3 Tendency to the Parameter of Grinding Power Signatures According to Grinding Time

의 動力)과의 差(ΔP_r)는 어느 연삭가공 시간(本 실험에서는 연삭갯수, $N=9$ piece 근방)에 있어서 急激한 변화가 있음을 알 수 있다. 또한, 3개의 파라메타에 대응한 각 가공시간에 따른 工作物의 表面粗度(R_{max})도 動力變化가 顯著해지는 領域에 있어서 급격히 나빠짐을 알 수 있다.

또한, Fig.4는 Fig.3의 각 연삭갯수 $N(3, 8, 10$ piece)에서의 研削動力 信號의 特徵을 나타내고 있다. Fig.4와 같이 연삭버닝의 徵兆가 있는 $N=9$ piece 부근에서 연삭동력은 현저한 변화가 있기 시작하여 충분히 진행된 $N=11$ piece에 있어서는 정상상태의 2-4배 이르는 不安定 狀態가 됨을 알 수 있다.

Fig.5는 Fig.3에서 나타난 動力의 突發現象이 어느 限界의 시간까지 持續되었을 때 연삭버닝의 原因이 되는가를 실험에 의해 분석한 결과이다.

즉, 동력의 搖動量(Fluctuation of Power Signatures) P_{flu} 이 클수록, 또한 持續時間 T_g 이 길수록 연삭버닝에 미치는 影響의 정도가 큼을 알 수 있다. 예로, P_{flu} 가 $40(\times 10^{-2}kW)$ 이고 T_g 이 200sec인 경우에는 공작물 표면의 變色이 褐色인 연삭버닝이 되었으며, 同一한 연삭버닝이라도 P_{flu} 보다는 T_g 이 연삭버닝에 많은 影響을 미침을 알 수 있다.

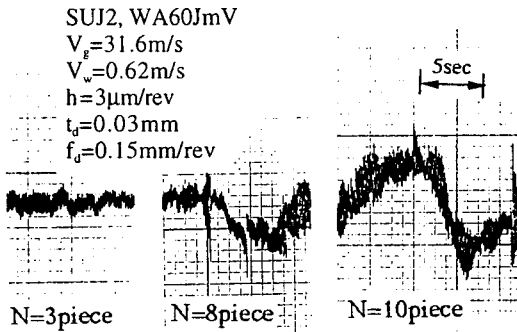


Fig.4 Grinding Power Signatures for the Grinding Number

고 加工工程을 지속하는 것이 加工能率面에서도 바람직하다. 그렇다면 突發 研削動力의 持續時間 (T_g)이 어느정도이면 연삭버닝으로 認識해야 하는 가는 Fig.6[B]의 領域과같이 적어도 3.2sec 이상일 때이다. 이결과는 實驗結果를 토대로 확인하였다.

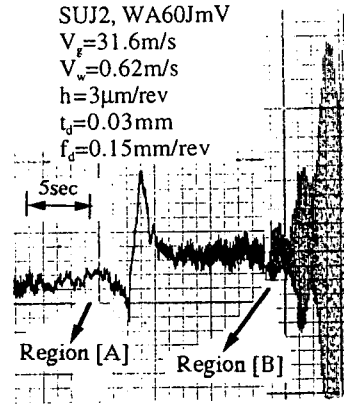


Fig.6 Criterion to the Continuing Time of Grinding Power Signatures Adopted the Burning Parameters

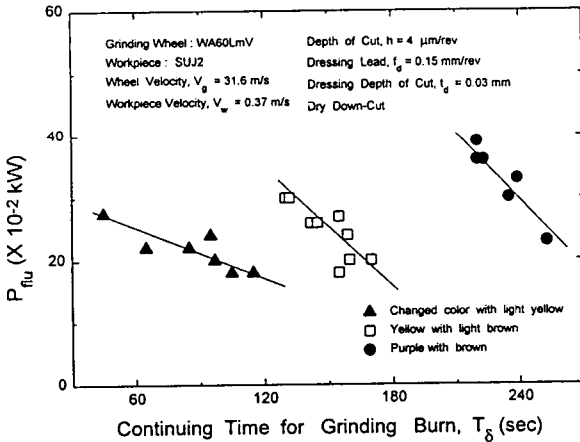


Fig.5 Comparison between the Fluctuating and Continuing Time of Grinding Power Signatures

한편 研削動力의 突發時間(搖動量이 지속되는 시간)과 크기가 연삭버닝에 미치는 影響을 比較·分析할 필요가 있다. 이는 예로 Fig.6의 [A]領域에서와 같이 瞬間的으로 매우 짧은 시간에 나타나는 경우에 있어서도 연삭버닝으로 간주할 수 있는지의 문제가 提起된다. 이는 가공중에 일시적으로 突發的인 加工狀態의 변화에 의해(研削液 공급불량 포함) 연삭버닝이 발생하였다 하여도 연삭공정이 끝나는 지점(한 사이클의 終了지점)이 아니라면 研削工程에 의해 제거될 것이기 때문이다. 따라서 이와같은 일시적이며 매우 짧은 시간에 間歇的으로 발생하는 경우에 있어서는 트러블로 간주하지 않

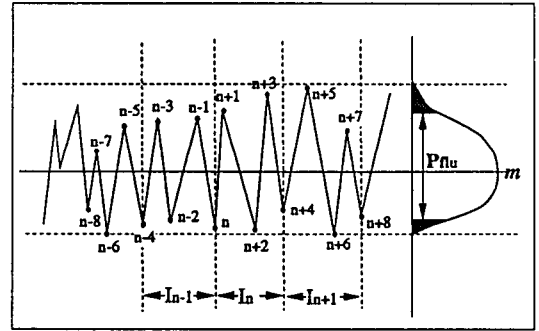


Fig.7 Detail Description for the Definition of Parameter for the P_{flu} Parameter

이를 PC(Personal Computer)상에서 認識시키기 위한 개념이 Fig.7이다. 시작점(Starting Point)은 100msec의 Sampling Time에서 n번째 데이터를 기준으로 하여 n-4, n-3, n-2, n-1, n번째인 5개의 데이터값(Interval I_{n-1})을 산술평균하여 얻은 값과 n, n+1, n+2, n+3, n+4번째 데이터(Interval I_n)의 산술평균 값의 1次導函數의 기울기 $f'(x)$, 즉 $dy/dx=dy/dt \cdot dt/dx$ 인 時刻 t를 媒介變數로 한 기울기 값을 비교하여 기울기 $f'(x)>0.3$ 이면 n번째 시간이 가공의 시작점이 되며, 만약 기울기 $f'(x)\leq 0.3$ 이면 종료점(Ending Point)으로 인식하도록 하였다. 여기서 약간의 시간지연은 무시할 수 있다.

動的動力의 瞬間變化 P_{flu} 는 정착시간 이후에 있어서 각 100개의 데이터에 대하여 95%의 信賴區間을 고려한 正規分布 곡선의 폭 중에서 최대값

으로 하였다. 이것은 100개의 데이터 중에 Noise 등으로 인한 갑작스런 동력변화가 발생하여 전체 데이터의 歪曲을 일으키는 것을 보완할 수 있다. S_d 는 정착시간에서의 동력값과 P_{flu} 이 정의되는 100개의 데이터의 算術平均값의 차이다.

Fig.8의 [A], [B]는 연삭숫돌 절입속도에 따른 P_{flu} 와 ΔP_r 의 관계를 낸다. 이결과와 같이 두파라메타 P_{flu} 와 ΔP_r 는 연삭숫돌의 종류와는 관계없이 절입속도에 비례하는 傾向을 나타내고 있다. 즉 연삭가공 조건중 절입속도가 연삭버닝에 미치는 影響이 크다는 것을 나타내고 있다. 이러한 결과는 G.H. Kim⁽³⁾, K.Takazawa⁽⁴⁾의 연구결과와도 잘 일치되고 있다.

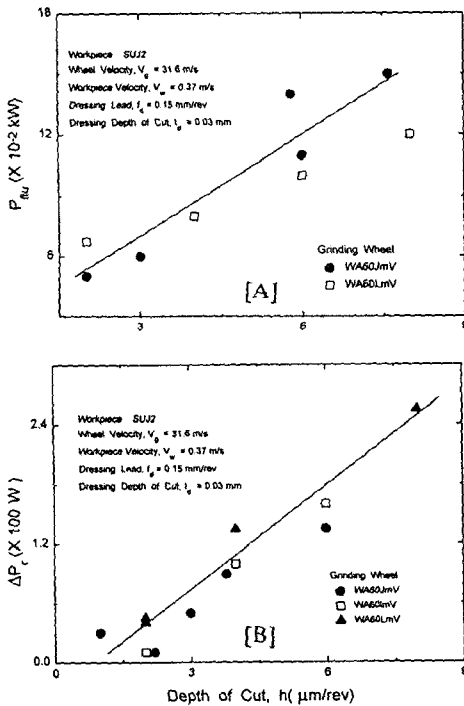


Fig.8 Relationship between the Wheel Depth of Cut and the Identification Parameters

4. 實驗結果 및 考察

研削動力 信號를 기초로 본연구에서 選定한 變數의 有效性를 검증하기위해 工作物의 加工品位에 미치는 影響에 대하여 평가하기위해 表面粗度, 加工硬度, 殘留應力, 工作物種類에 대한 연삭버닝의 影響을 檢討하였다.

Fig.9는 연삭버닝이 工作物 表面조도에 미치는 影響에 대한 結果이다. 즉, Fig.2에서 提示한 파라메타인 P_{flu} , ΔP_r , S_d 가 연삭버닝의 檢知(Detecting)에 有效변수인가의 檢證을 위해 研削時間에 따른 動力信號의 특징에 따른 工作物 表面조

도를 각 Point별로 對應·比較한 結果이다. 상부의 그림(A)는 研削加工 개수, N=3piece, (B)는 8piece, (C)는 11piece일때의 工作物 表面粗도에 대한 結果이며, 연삭갯수 9piece부근에서 工作物 表面에 Yellow Type의 연삭버닝 現象이 나타났다. 따라서 위에 제시한 파라메타인 P_{flu} , ΔP_r , S_d 는 연삭버닝의 檢知(Detecting)에 有效한 파라메타임을 알 수 있다.

한편, Fig.10은 Fig.2에서 연삭버닝이 발생이 후에도 계속 연삭을 했을때인, 즉 연삭갯수 N=12piece에서의 연삭동력의 變化를 나타내고 있다. 이때는 연삭버닝과 동시에 chatter진동이 竝進하였다. 이는 연삭숫돌의 表面狀態가 Loading상태에서 工作物과의 접촉면의 加工性이 劣化되어 摩擦力의 증대에 따라 어느한계 負荷에 있어서 가공이 되는 現象의 반복에 의해 나타나는 것으로 보여진다.

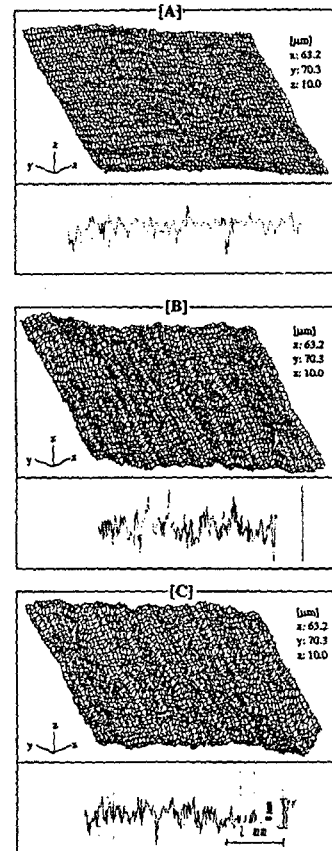


Fig.9 The Influence of Grinding Burn for the Workpiece Surface Roughness

또한, Fig.11는 연삭버닝이 工作物 경도에 미치는 影響을 실험을 통해서 얻은 結果이다. 동일한 가공조건에서도 연삭버닝의 정도에 따라 工作物의 Hv硬度에 미치는 影響이 매우 큼을 알 수 있다. 즉, 연삭버닝이 발생하지 않았을때는 工作物 表面

으로부터 400 μm 까지 硬度(Hardness)의 변화가 있다. 이는 기계가공에 의한 純粹荷重에 의한 영향이고, 공작물의 着色이 Light Yellow→Yellow with Light Brown→Purple with Brown으로 발전할수록 공작물에 미치는 영향의 정도는 많음을 알 수 있다. 밝은 褐色이나 暗靑色인 경우에는 공작물 표면으로부터 1200 μm 까지도 영향을 미친다.

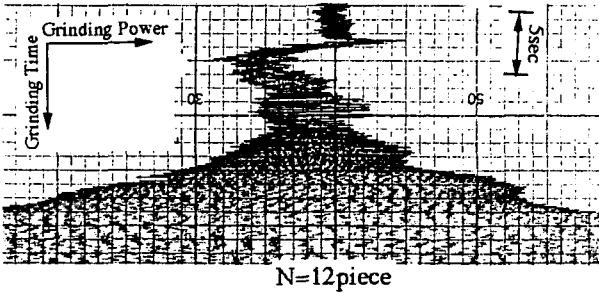


Fig.10 Characteristic of Grinding Power Signatures After the Grinding Burn

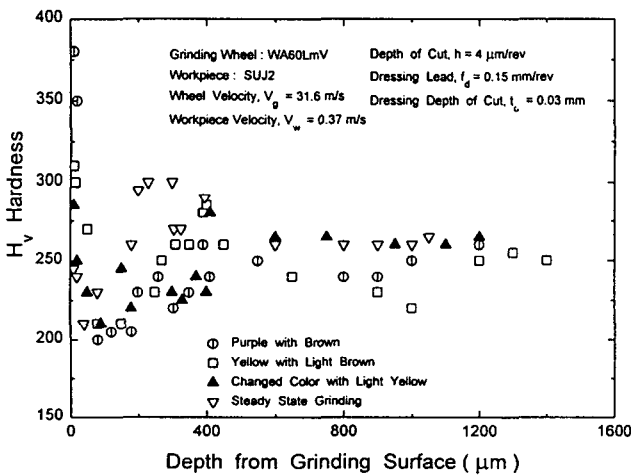


Fig.11 The Influence of Grinding Burn for the Workpiece Hardness

그리고 Fig.12과 Fig.13는 工作物의 殘留應力 및 工作物 種類에 따른 연삭버닝의 影響을 분석한 결과이다. Fig.12의 결과와 같이, 연삭버닝은 연삭 조건중에서도 切入量(Wheel Depth of Cut)에 의해 가장 큰 影響을 받는다. 즉, 절입깊이가 클수록 공작물에 미치는 熱的損傷은 比例的으로 增加하며, 절입깊이가 17 $\mu\text{m}/\text{rev}$ 일때는 공작물 표면으로부터의 250 μm 까지 熱的損傷에 대한 영향이 있다. 이는 G.H. Kim⁽⁵⁾의 연구에서와 같이 연삭버닝에 미치는 研削加工條件의 定量的 評價에서도 연삭숫돌의 절입깊이가 다른가공조건에 비해서 상대적으로 크다는 결과와도 잘 일치되고 있음을 알 수 있다.

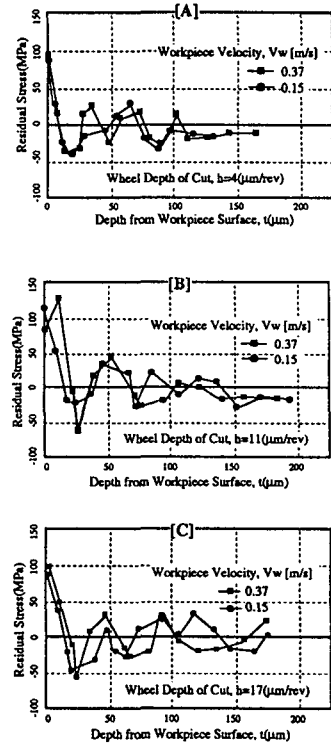


Fig.12 The Influence of Grinding Burn for the Workpiece Residual Stress

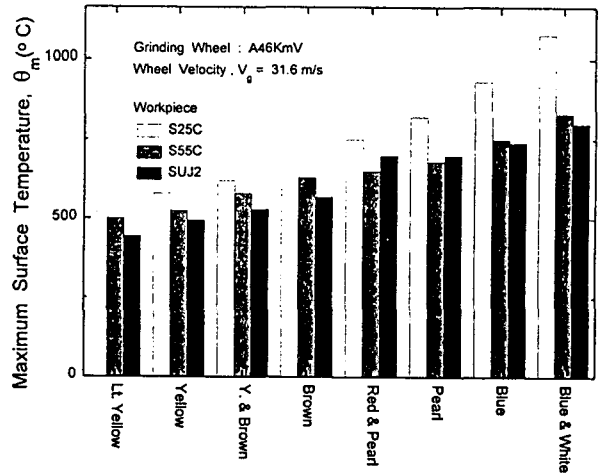


Fig.13 The Influence of Grinding Burn According to Workpiece Kind

한편, Fig.13와 같이 연삭버닝은 工作物 種類에 따라 그 影響程度가 다를 수 있다. 즉, 研削加工時의 연삭숫돌과 공작물간의 干涉領域의 最高溫度 θ_m 이 동일하여도 공작물의 硬度가 큰 SUJ2에 비하여 비교적 硬度가 낮은 S45C가 영향이 크다.

5. 結 論

본 연구는 研削動力을 이용한 연삭버닝의 모니터링을 위해 연삭동력 신호의 特徵을 파악하여, 분석한 데이터를 토대로 연삭가공용 트러블 모니터링에 이용하기 위한 파라메타를 同定 모델을 제시하여 연삭가공용 트러블 모니터링을 위한 기초적 실험을 하였다. 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 연삭가공 중에 발생하는 연삭버닝을 연삭동력의 변화를 檢知하여 효과적으로 감시할 수 있음이 實驗結果에서 밝혀졌다.
- (2) 實驗으로부터 同定(Identification)한 3개의 파라메타 P_{fl} , ΔP , S_d 는 研削加工用 트러블 모니터링을 위한 유효한 파라메타이며, 동정한 파라메타의 特性值에서의 工作物의 加工品位을 比較結果는 잘 일치 되었다.

參考文獻

- (1) S. Kawamura, Y. Iwao, S. Nishiguchi; "Studies on the Fundamental Grinding Burn(2nd Report)," JSPE, Vol.45, No.1, 1986, p.83
- (2) N.R. Desrulsseaux, R.D. Zerkle; "Temperature in Semi-Infinite and Cylindrical Bodies Subjected to Moving Heat Sources and Surface Cooling," ASME, August, 1970, p.456
- (3) G.H. Kim, J.K. Lee; "Knowledge Acquisition and Design for the Grinding Trouble Knowledge-base," KSPE, Vol.12, No.1, 1995, p.47
- (4) K. Takazawa; "The Flowing into the Work of the Heat Generated by Grinding," JSPE, Vol.30, No.12, 1971, p.914
- (5) Gunhoi Kim, Ichiro Inasaki; "Establishment of Optimum Grinding Conditions Utilizing the Fuzzy Regression Model," JSME, Vol.59, No.566, 1993, p.280