

研削 加工面の 表面性狀에 關한 研究

金 敬年*, 鄭 載天**, 車 一男***

A Study on Surface Integrity in Ground Layers

Kim Gyung-Nyun*, Cheong Chae-Cheon**, Cha Il-Nam***

Abstract

The design of structures of modern industry has developed to satisfy stringent service, reliability and safety. Up to now, geometric profile which means surface roughness and dimension accuracy is mainly treated in manufacturing process of work surface. But it is inevitable to evaluate changes of surface geometry as well as the nature of alterations in surface layers because surface of workpiece changes as a result of phase transformation, chemical changes, plastic deformation and stress changes.

This paper is to present principal data for safety design by verifying the effect of grinding conditions and method in grinding layers and to explain the method of measuring surface integrity.

In this paper, structural steel(SM20C) is used as a workpiece. Of integrity, surface roughness in view of surface texture is analyzed by frequency domain and residual stress, structures and defect of ground layers in view of surface metallurgy are investigated.

The results are as follows,

1. With the increase of table feed, the surface roughness in both wet and dry increases. The frequencies affecting surface roughness exist within 200Hz and the dominant effect of a certain frequency doesn't exist because of irregular array of cutting edges.
2. By comparing the rate of the increase of surface roughness, the rate is primarily

- affected by cross feed. Also surface roughness is affected within 200Hz in frequency domain and the ruling effect of a certain frequency doesn't exist.
3. With the increase of table feed, tensile residual stress in wet decreases and transition point in which the sign of stress changes becomes closer to the surface region. Also maximum residual stress in both directions transforms the tensile into

* 인하대학교 기계공학과 대학원

** 인하대학교 기계공학과

*** 서울산업대학 기계공학과

the compressive.

Up to the 23m/min, tensile residual stress in dry increases and in that feed the tensile becomes the compressive. Maximum residual stress, like one in wet, transforms the tensile into the compressive.

4. With the increase of cross feed, tensile residual stress decreases. In dry only compressive residual stress exists over 1.5mm/pass and the magnitude of stress increases more and more. Therefore maximum residual stress in both directions transforms the tensile into the compressive. But maximum compressive residual stress is not largely affected with respect to increase of cross feed.
5. Generally, grinding surface consists of overlapped groove and cavity, void, ploughing, back transformed, crater, plastic flow, transformation of debris can be observed. Depending upon quantity, these defects always exist in grinding process and directly have an influence on surface roughness.

1. 緒 論

가공면의 質은 복잡해진 環境, 긴 壽命 등에 대하여 요구조건들을 만족시키기 위하여 重要時 되고 있다. 따라서 표면성상의 중요성은 현재 충분히 認定되고 있다.

Surface Integrity라는 말은 1964년에 M. Field와 J. F. Kahles에 의하여 Defense Metals Information Center Report, No. 210, 1964 (october)에 다음의 題目으로 提案된 것이 最初이다.

"The Surface Integrity of Machined and Ground High Strength Steel"

비록 부분적이지만 이 問題에 關한 關心은 이보다 훨씬 以前인 1950年경에 Tarasov에 의하여 研削加工面에 있어서의 結合의 原因과 그 대책에 대한 연구에서 지적되었고¹⁾, 以後 Christenson, Hyler, Letner에 의하여 연삭조건 변화에 대한 研削殘留應力과 疲勞強度의 檢討로²⁾ 이어졌다.

그러나 표면성상 全體에 대한 研究는 Michael Field, John F. Kahles and William P. Koster의 ECG (electrochemical grinding)와 EDG (electrical discharge grinding)을 一般研削 및 정면밀링작업과 비교하여 가공중의 缺陷, 표면층의 硬度變化, 잔류응력, 相變化 즉, 표면야금에 대한 研究^{3), 4)}를 비롯하여 극히 制限的이며, 보통은 部分的 研究가 많이 이루어지고 있는 실정이다. 특히 殘留應力에 대한 研究는 여러방면으로 많은 사람들에 의하여 研究되고 있으며, 그중 X-Ray회절법에 의하여 有向性 加工層의 원통 및 평면에 대한 잔류응력 분포를 규명한 中山守 등^{5), 6)}의 연구가 있으나, 이 방법은 표면으로 부터 깊이가 2mm이상인 경우에는 應力測定이 불가능하다는 缺點이 있으며, 이외에 腐蝕에 의한 변형량을 dial gage나 electric micrometer등으로 측정하여 표면밀 깊이 변화에 대하여 殘留應力 分布를 규명한 Jacques Peters⁷⁾⁻⁹⁾의 연구 그리고 接線 研削抵抗 및 法線 研削抵抗에 대한 合成抵抗의 作用角에 대하여 잔류응력 분포를 FEM에 의하여 해석한 貴地好三 등의 연구¹⁰⁾ 이외에도 잔류응력에 대한 많은 연구결과가 발표되어 있다.

SEM (scanning electron micrographs) 撮影, 顯微鏡 寫眞 撮影등을 이용한 J. A. Bailey, S. E. Becker 등의 열처리된 시험편에 있어서 작업조건을 변화시키면서 선반작업한 경우의 表面損傷 및 表面 거칠기에 대한 연구 및 工作機械에 따라 발생하는 표면조직 변화 및 표면손상에 대한 연구등 表面性狀中 표면야금에 대한 部分的 研究는 여러방면에서 다수 발표되고 있다. 한편 表面形狀의 대표적 분야인 表面거칠기에 대하여는 오래전 부터 각종 공작기계

및 재질에 따라 활발히 연구되어 왔으나 거의 모두가 表面形狀曲線의 垂直成分에 대한 解析이며 이러한 해석법으로는 표면형상곡선의 형성원인에 대한 糾明은 불가능하다. 표면거칠기의 형성원인을 규명하기 위하여는 표면형상곡선(surface profile)의 周波數分析이 행하여져야 하는데 이에대한 연구는 本多良辰등의¹¹⁾ 드레싱 條件에 따라 표면거칠기에 미치는 周波數成分分析을 한것 이외에는 주파수 분석에 의한 표면거칠기 해석에 관한 연구는 찾아보기 힘들다.

本 研究는 研削條件中 橫方向 移送(table feed), 縱方向 移送(cross feed)를 변화 시키면서 작업했을때의 연삭층의 표면성상을 糾明하기 위하여 아래와 같은 測定을 실시 하였다.

(1) 表面形狀 (surface texture)

表面거칠기에 영향을 미치는 確定因子와 不確定因子를 구별하기 위하여 FFT analyzer에 의한 周波數領域에서의 表面거칠기 解析

(2) 表面冶金 (surface metallurgy)

ㄱ. 光學 顯微鏡 寫眞에 의한 表面域의 組織變化 檢討

ㄴ. Strain gage에 의한 殘留應力 解析

ㄷ. 走査顯微鏡寫眞에 의한 表面의 損傷部位 檢討

以上の 測定을 통하여 研削加工面의 表面성상을 규명하였으며 이를 공정설계의 기초자료를 제공함과 아울러 그 연구방법을 제시하고자 한다.

2. 測定 方法

2-1. 試驗片 製作 및 研削條件

本 研究에 使用된 試驗片은 모우트축동에 사용되는 기계구조용탄소강(SM20C)을 선택 하였으며, 試驗片은 80×80×7(mm)로 하였으며 上下面은 正面 밀링작업을 하였다. 이때 밀링작업에 의하여 발생될 수 있는 결함을 최소로 하기 위하여 0.5mm씩 加工 하였다. 또 研削에서 縱方向 移送(cross feed)

0.2mm/pass, 橫方向 移送(table feed) 13m/min로 고정하고, 研削깊이(down feed)를 5 μ m로 하여 20회 즉, 100 μ m까지 研削한후 2.5 μ m로 하여 25 μ m까지 初期 研削 하였다.

연삭조건으로는 平面研削加工時 횡방향 이송, 종방향 이송, 연삭깊이 및 연삭방법에 따라 試驗片의 表面 및 表面 밑部分의 거동 즉, 表面性狀을 糾明하기 위하여 숫돌의 圓周速度를 1740m/min으로 一定하게 하고, magnetic chuck에 시험편을 裝着한 다음, 精密度 0.001mm dial gage를 利用하여 연삭깊이를 10, 15, 20, 25(μ m)로 變化시키고, 종방향 이송을 0.5, 1, 1.5, 2(mm/pass), 횡방향 이송을 8, 13, 18, 23(m/min)로 自動移送 시키면서 습식 및 건식, 두방식을 채택하였다.

研削숫돌은 Al₂O₃계의 WA를 使用하였고, 粒度, 結合度, 組織, 結合濟는 60K7V를 選擇하였으며, 숫돌의 치수는 209×19×50.8(mm)이다.¹²⁾

2-2. 測定 方法

2-2-1. 表面거칠기

표면거칠기 측정은 A/D converter에 의하여 R_{max}값을 먼저 측정하였고, 또한 表面形狀曲線을 FFT analyzer에 의하여 周波數領域에서 분석하여 표면거칠기에 영향을 미치는 주파수 영역을 결정하고, 이 주파수 영역에서의 표면거칠기값을 R_{rms}값으로 換算하였다.

먼저 R_{max}에 대한 測定法은 다음과 같다.

시험편을 水平으로 設置한 후, 表面거칠기 측정기의 영점조정을 행한 다음 실시하였으며, 이때의 표면거칠기(측정기)의 作動設定條件은 tracing 速度 1.5mm/sec, 0.8mm의 cut off값을 선정하였다. 이렇게 구하여진 표면형상곡선은 A/D converter를 통하여 stylus tip의 變位量에 비례하는 전압으로 변환되어 computer 화면에 display된다. 이 出力 電壓을 표준시편 1.5R_{max} 및 11R_{max}에 대한 相對的인 값으로 환산하여 출력전압과 표면거칠기의 관계를 Fig. 2-1에 나타내었다.

주파수 분석에 의한 표면거칠기는 우선 觸針의 變

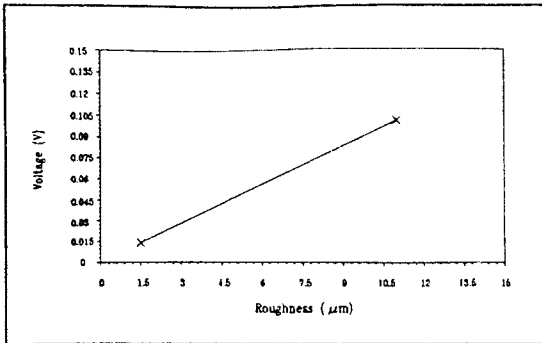


Fig. 2-1 The Relation of Output Voltage and Surface Roughness (R_{max})

이량에 의한 표면형상곡선을 FFT analyzer에서 Y축을 dB, X축을 周波數 領域으로 설정하여 분석하였다. 이때 FFT analyzer의 주파수 범위를 0~500Hz, 感度範圍를 0~120dB로 固定시켰다. 이와 같이 周波數 領域에서의 表面거칠기 분석은 측침식 表面거칠기 측정기에서 측정할 수 없었던 表面거칠기에 영향을 주는 확정인자와 불확정 인자를 분리하여 解析할 수 있다. 또한 表面거칠기 측정기의 stylus tip에 의한 表面의 凹凸에 대한 變位量이 增幅器를 거쳐서 表面形狀曲線은 A/D converter를 통하여 computer로 보내지고 또한편으로는 形상곡선을 FFT analyzer로 보내서 주파수 분석을 하여 그 結果들을 GP-IB card를 통하여 각각 diskette에 收錄할 수 있게 하였다.

2-2-2. 殘留應力

本 實驗에서는 表面層을 腐蝕除去시키면서 殘留應力을 測定할 수 있는 etching技法을 利用하기 위하여 透明 acryle板材를 利用하여 450×250×150 (mm)의 電解研磨裝置를 製作하여 그 내부에 시험편을 고정할 수 있는 고정구를 설치하였다.

電解研磨 條件으로는 浴槽內에 5% 염화나트륨 (NaCl) 水溶液을 電解液으로 使用하였으며¹³⁾, 測定時 電解研磨를 위하여 供給되는 直流電源은 電壓 10V, 電流 4A 固定하였고, 試驗片에는 陽極, 試驗片 固定臺에 附着된 黃銅판에는 陰極을 걸어 電解研

磨를 實施하였다. 이 때 試驗片의 機械加工面을 除外한 面들의 腐蝕을 막기 위하여 腐蝕防止 paint를 칠하였다.

또한 機械加工面의 반대쪽으로는 rosette gage와 terminal을 固定한 後 防水處理를 하였다. 그리고 이 rosette gage에 連結된 wire를 bridge box와 amplifier를 통하여 A/D converter에 連結하였다.

電解研磨를 시키면 機械加工된 面이 조금씩 除去되면서 内部應力의 平衡이 깨어지게 되고, 이에 따라 平板試驗片은 變形을 일으킨다. 이를 殘留應力이 存在하지 않는 層 즉, 變形이 發生하지 않는 層까지 電解研磨를 시켜 그때까지의 變形量을 unkel scope를 통하여 10초 間隔으로 測定하여 display시켰으며, 또한 全 data를 floppy diskette에 貯藏하였다.

이 data를 應力-變位 關係式에 適用하여 研削加工에 의하여 發生된 殘留應力의 分布값들을 研削方向, 研削에 垂直한 方向 즉, σ_x, σ_y 를 算定하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 研削條件 變化가 表面거칠기에 미치는 影響

3-1-1. 橫方向 移送의 影響

Fig. 3-1은 최대거칠기 $11R_{max}$ 標準試驗片에 대한 表面形狀曲線을 분석한 그림으로 (a)는 A/D converter에 의하여 stylus tip의 變位 變化量을 전압으로 변환하여 출력한 것이며 (b)는 표준시험편의 표면형상곡선을 周波數 分析한 결과이다. 이 그림에서 보면 표준시험편은 순수 Sine파형만을 형성하고 있으므로 이에 대한 周波數 分析結果 역시 일정 周波數 대역에서만 그 진폭을 가지고 있으며, 이외의 주파수 영역에서는 거의 0 dB를 나타내고 있다. 따라서 $11R_{max}$ 표준 시험편은 약 71 dB 즉, $3.8R_{max}$ 의 값을 갖게된다. Fig. 3-2의 (a)는 연삭깊이 15 μm , 중방향 이송을 1mm/pass로 일정하게 한 상태에서 橫方向 移送를 8m/min로 변화시킨 경우에 濕式研削時 시험편의 表面거칠기를 voltage로 출력한 것이며, (b)는 (a)와 같은 조건에서 각 표면형상곡선을

周波數 分析한 結果이다. 이와같이 200 Hz내의 全周波數 領域에서 그 진폭에서 큰 차이없이 분포하고 있으며 표면거칠기에 영향을 주는 다른 인자들 역시 절인의 영향과 비슷하게 표면거칠기에 영향을 미침을 추측할 수 있다.

결국 研削作業한 試驗片의 표면거칠기는 어떤 특정 몇몇 因子에 의하여 형성되는 것이 아니라 무수히 많은 因子들의 相互干涉에 의한 영향으로 표면거칠기가 形成됨을 알 수 있다.

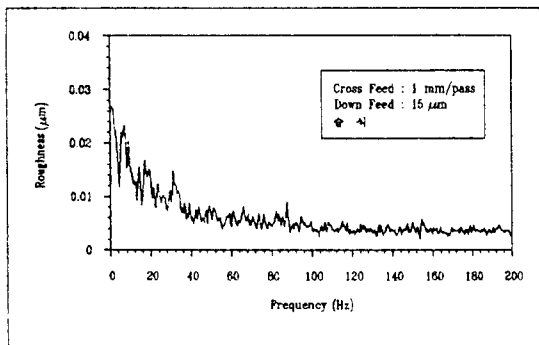
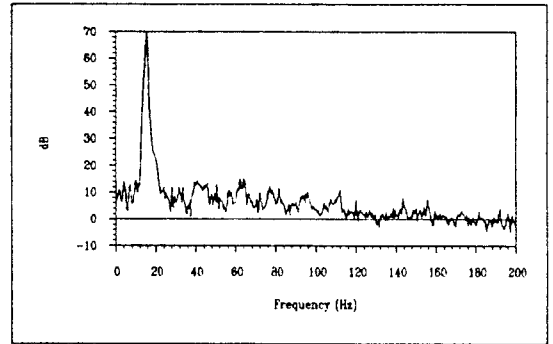
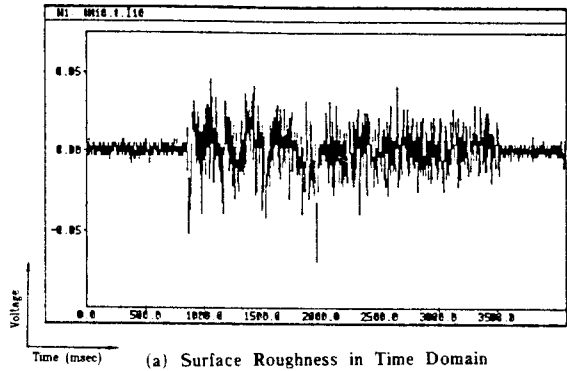
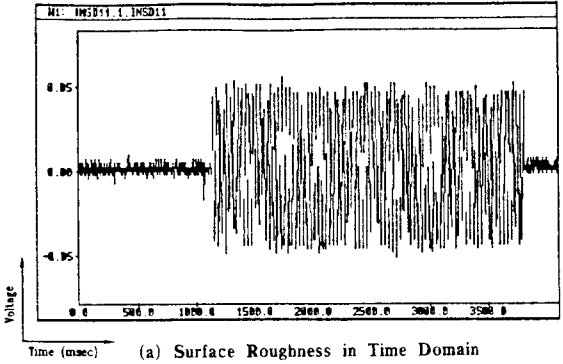


Fig. 3-2 Characteristics of Surface Roughness at Table Feed of 8m/min

Fig. 3-1 Characteristics of Surface Roughness for on 11R_{max} Standard Specimen

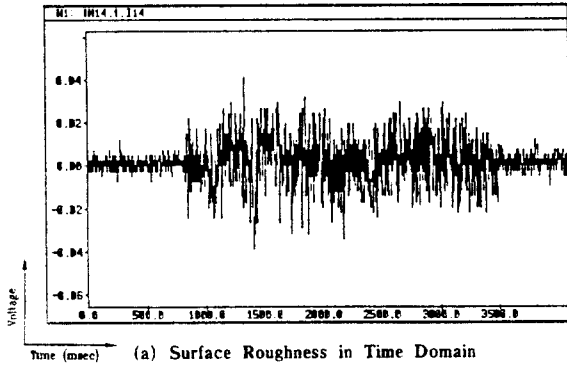
Fig. 3-3은 위와 같은 조건에서 乾式 研削한 경우에 대한 표면거칠기 및 주파수 분석결과를 圖示한 그림으로 습식의 경우에서와 마찬가지로 많은 因子들의 상호간섭에 의하여 표면거칠기가 形成됨을 볼 수 있다.

Fig. 3-4는 연삭깊이 15 μm, 종방향 이송을 1mm/pass로 일정하게 한 상태에서 횡방향 이송을 8, 13, 18, 23 (m/min)로 변화시킨 경우에 건식 및 습식 연삭시 시험편의 표면거칠기를 최대 거칠기(R_{max}) 및 FFT analyzer에 의하여 해석된 自乘平均 거칠기(R_{rms})가 횡방향 이송 증가에 대한 거칠기의 변화를 圖示한 것이다.

자승 평균 거칠기는 건식, 습식 두 방법 共히 횡방향 이송이 증가함에 따라 최대 거칠기와 마찬가지로 약간 증가하는 경향을 보이고 있으나 그 增加率에 있어서 최대 거칠기보다 적다.

이는 횡방향 이송이 증가하게 되면 연삭잔량은 더욱 크게 되고 또한 횡방향 이송이 증가함에 따라 研削抵抗이 커지게 되고 따라서 표면을 플로잉(ploughing)하는 현상이 발생하기 때문에 횡방향 이

송증가에 따라 表面거칠기는 커지게 된다.



card를 통하여 stylus tip의 變位量을 電壓으로 出力한 것이며, (b)는 이들 表面형상곡선을 FFT analyzer에 의하여 주파수 분석한 결과이다.

같은 조건에서 건식연삭한 경우의 表面형상곡선 및 주파수 분석 결과를 Fig. 3-6의 (a) 및 (b)에 나타내었다.

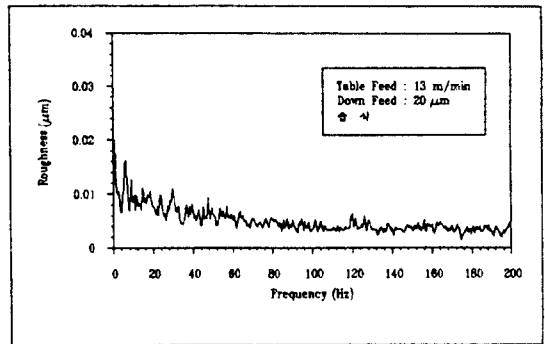
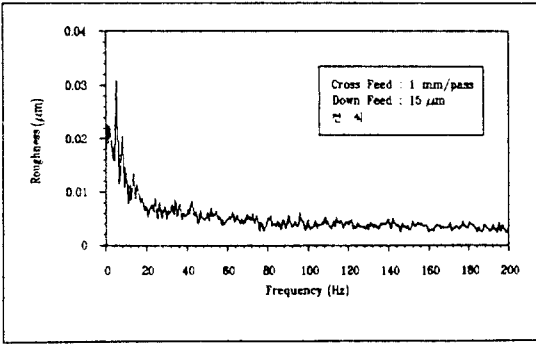
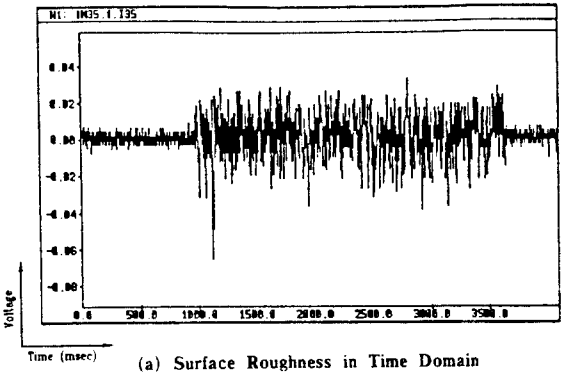


Fig. 3-3 Characteristics of Surface Roughness at Table Feed of 8m/min

(b) Surface Roughness in Time Domain

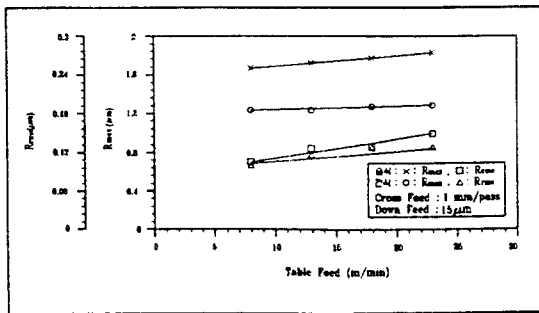


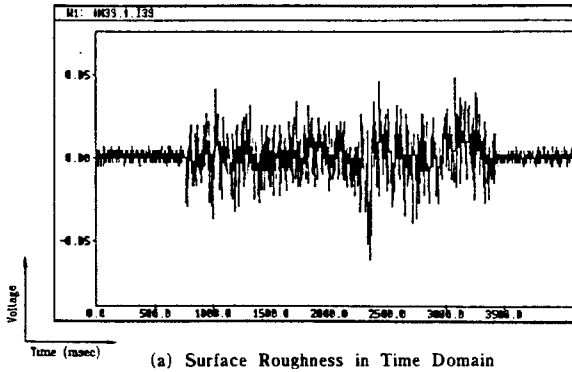
Fig. 3-5 Characteristics of Surface Roughness at Cross Feed of 0.5mm/pass

Fig. 3-4 R_{rms} and R_{max} for Table Feed Variation

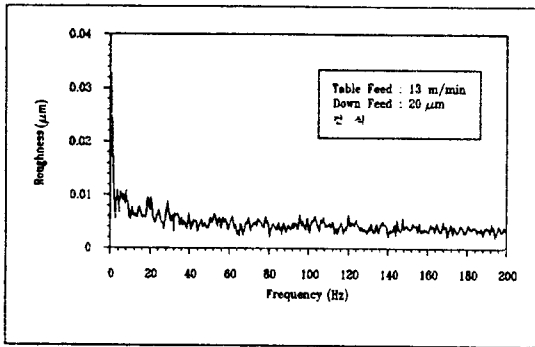
3-1-2. 縱方向 移送의 影響

Fig. 3-5의 (a)는 횡방향 이송 13m/min, 연삭깊이 20 μm로 일정하게 하고, 종방향 이송을 0.5mm/pass로 변화시키면서 濕式研削한 경우에 PCL-812

이들 그림에서 보면 表面形狀에 影響을 미치는 인자의 주파수 영역은 횡방향 이송 변화에서 처음 200 Hz내에서 存在하며, 어떤 특정주파수의 지배적 영향은 볼 수 없다. 또한 시험편에 대하여 stylus tip이 횡단하면서 발생하는 剛體운동(rigid body motion)이기 때문에 0 Hz에서의 진폭은 표면거칠기에 영향을 미치는 주파수 영역이라 볼 수 없다. 따라서 본 연구에서는 0 Hz에서의 진폭은 표면거칠기 계산에서 除



(a) Surface Roughness in Time Domain



(b) Surface Roughness in Time Domain

Fig. 3-6 Characteristics of Surface Roughness at Cross Feed of 0.5mm/pass

외시켰다.

A/D converter에 의하여 分析된 최대 거칠기(R_{ms}) 및 주파수 분석에 의하여 얻어진 自乘 平均 거칠기(R_{rms})가 종방향 이송을 0.5, 1, 1.5, 2 (mm/pass)로 한 경우에 대한 영향을 Fig. 3-7에 나타내었

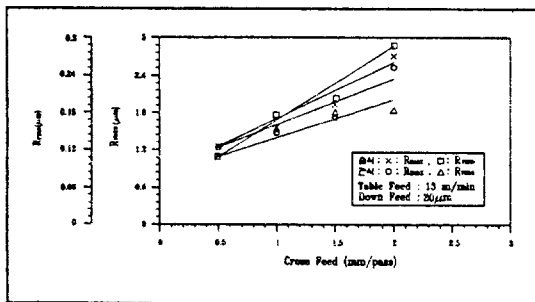


Fig. 3-7 R_{ms} and R_{max} for Cross Feed Variation

다. 지승 평균 거칠기는 건식, 습식 두방향 共히 종방향 이송 증가에 따라 최대 거칠기와 같이 증가하고 있다.

또한 트레이버스 연삭 (traverse cut grinding) 에서는 일정한 절삭깊이를 슷돌반경방향으로 주어 축방향으로 수평이송하게 되면 실제 절삭량이 설정 절삭깊이 양보다도 적고 또한 그 차가 時間적으로 변화하기 때문에 표면의 거칠기는 점차 커지게 된다.

3-2. 研削條件 變化가 殘留應力에 미치는 影響

3-2-1. 橫方向 移送이 殘留應力分布 및 最大 殘留應力에 미치는 影響

Fig. 3-8은 연삭깊이를 $15\mu m$, 종방향 이송을 1mm/pass로 고정시킨 상태에서 횡방향 이송을 8m/min로 변화시킨 경우에 습식 연삭시 시험편에서 發生하는 잔류응력분포를 表面 밑 부분의 깊이 변화에 대하여 圖示한 것이다. Fig. 3-8에서 보면 연삭방향 응력인 σ_x 와 이에 직각인 σ_y 방향 共히 표면에 近接한 領域에서는 인장응력을 나타내고 있으나, 표면부위에서 멀어질수록 점차 압축응력으로 遷移된다. 또한 표면부위의 인장응력에서는 연삭방향응력 보다는 이에 직각인 방향의 응력이 크게 존재하나 압축응력이 存在하는 지점에서는 연삭방향응력이 크게 존재함을 볼 수 있다.

그리고 최대잔류응력을 갖는 層의 깊이는 두방향 모두 15~20 μm 범위에서 존재하고 있으나, 인장응력

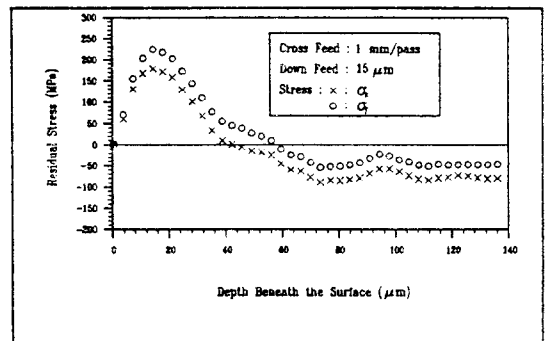


Fig. 3-8 Residual Stress Distribution at Table Feed of 8m/min (with Coolant)

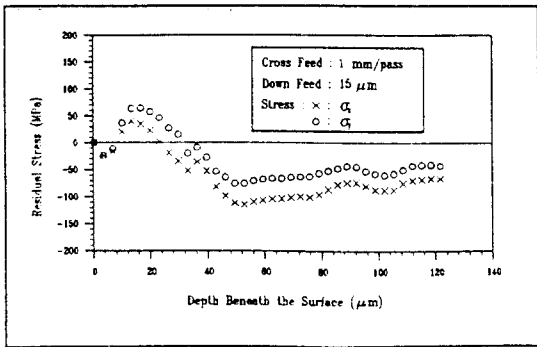


Fig. 3-9 Residual Stress Distribution at Table Feed of 8m/min (without Coolant)

에서 압축응력으로 轉換되는 遷移點은 연삭방향응력이 연삭방향에 직각인 응력 보다는 다소 깊음을 볼 수 있다.

횡방향 이송이 증가됨에 따라 경향은 대체로 비슷하나 인장응력의 크기는 Fig. 3-8의 경우보다 다소 減少 되었으며, 압축응력은 오히려 증가된다. 같은 조건에서 건식작업 하였을때 시험편에 發生하는 應力分布를 Fig. 3-9에 도시하였으며, 횡방향 이송이 증가할수록 인장응력이 점차 증가 하다가 횡방향 이송이 23m/min에서는 오히려 減少하는 경향을 나타내고 있다. 또한 遷移點을 지나 압축응력 영역에서는 횡방향 이송이 증가할수록 압축응력도 약간 증가함을 보이고 있다. 이들 경향은 열응력과 절삭에 의한 소성 변형의 증가 그리고 변태절에서의 응력의 반전에 의한 영향으로 사료된다. 한편 移送이 最大殘留應力에 미치는 영향을 보면 Fig. 3-10에서 처음 연삭방향의 응력에 있어서 습식의 경우는 횡방향 이송이 증가할수록 점차 감소하다 횡방향 이송이 23m/min에서는 압축응력으로 압축으로 전환된다. 이 현상 역시 연삭에 앞서는 미끄럼 現象이 존재하고 高速, 微少量 절삭이기 때문에 단위체적당 연삭 에너지가 크지기 때문에 높은 온도에 도달하게 되고 소성역의 突出로 인하여 어느조건까지는 증가하지만 횡방향 이송이 더 증가하게 되면 응력의 반전 및 연삭 버니싱에 의한 영향이 더 커지기 때문이다.

Fig. 3-11에서 처음 연삭에 직각인 방향 역시 같은

경향을 보이고 있으나 건식의 경우에는 횡방향 이송이 23m/min에서의 감소량은 훨씬 적음을 알 수 있다.

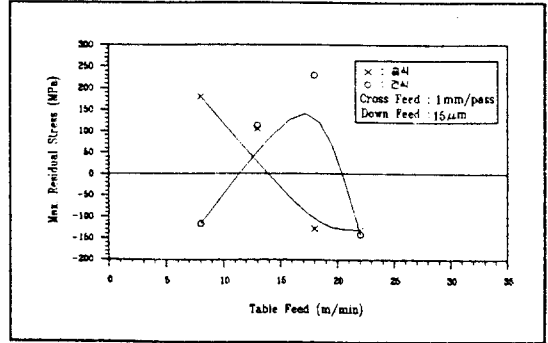


Fig. 3-10 The Effect of Table Feed for Max. Residual Stress of Grinding Direction

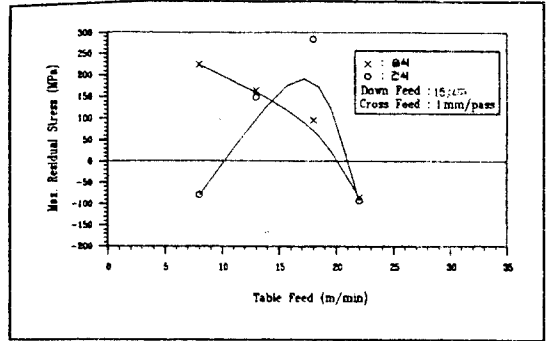


Fig. 3-11 The Effect of Table Feed for Max. Residual Stress (The Stress of Direction Orthogonal for Grinding)

3-2-2. 縱方向 移送이 殘留應力分布 및 最大殘留應力에 미치는 影響

Fig. 3-12는 횡방향 이송 13m/min, 연삭깊이 20μm로 일정하게 하고 종방향 이송이 0.5mm/pass인 경우의 잔류응력분포를 도시한 그림이다. 종방향 이송이 증가 할수록 인장응력은 감소하다가 1.5mm/pass에서는 인장응력은 존재하지 않고 압축응력만 존재하며 압축응력의 크기는 점점 증가함을 알 수 있다. 각 조건 共히 인장응력에서는 연삭방향응력이 이에 直角인 방향의 응력보다 적으나 압축응력에서는

큰값을 가지고 있음을 볼 수 있다. 이러한 傾向들이 특히 표면역에서 큰 차이를 나타내고 있는것은 縱方向 移送이 커짐에 따라서 변태응력이 증가하기 때문이다.

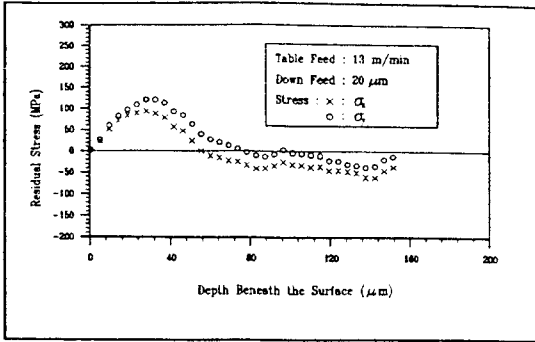


Fig. 3-12 Residual Stress Distribution at Cross Feed of 0.5mm/pass (with Coolant)

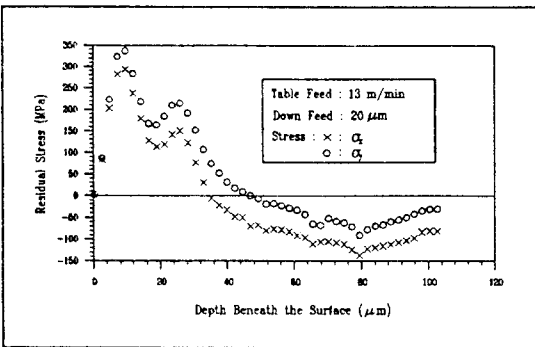


Fig. 3-13 Residual Stress Distribution at Cross Feed of 0.5mm/pass (without Coolant)

한편 같은 조건에서 건식 연삭한 경우에 대한 응력 분포를 Fig. 3-13에 圖示 하였으며 응력의 값에 있어서는 약간의 차를 나타내고 있지만 경향은 거의 비슷하게 나타나고 있다. 즉, 종방향 이송이 증가할수록 표면역에 存在하고 있던 인장응력은 점차 減少하며, 압축응력은 다소 증가하고 있다. 이 현상은 응력의 반전 및 소성변형의 감소에 기인한다. 또한 Fig. 3-14, 3-15에서 습식 연삭한 경우에 있어서 연삭방향과 이에 직각인 방향에 대한 최대잔류응력의 變化를 보

면 종방향 이송이 증가할수록 인장응력에서 압축응력으로 거의 직선적으로 감소하며 압축응력에서는 變化가 거의 없다. 이러한 경향은 乾式研削의 경우에 있어서도 같은 현상을 보여주고 있다. 이 현상으로 보아 연삭조건이 심해질수록 시험편의 表面 附近에서는 대단히 복잡한 응력의 相互干涉現象이 있을것으로 추측된다.

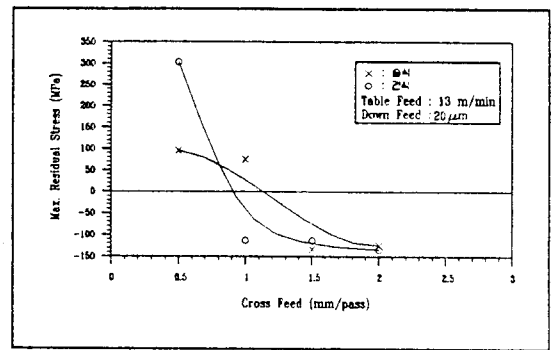


Fig. 3-14 The Effect of Cross Feed for Max. Residual Stress (The Stress of Grinding Direction)

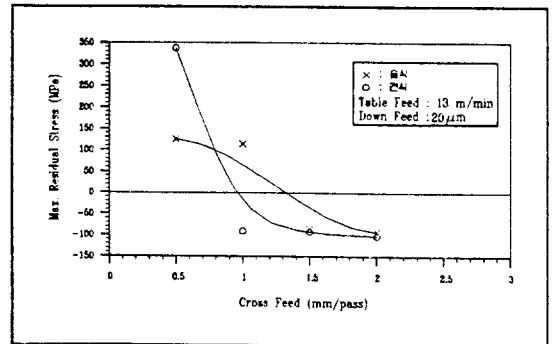


Fig. 3-15 The Effect of Cross Feed for Max. Residual Stress (The Stress of Direction Orthogonal for Grinding)

3-3. 加工面の顯微鏡 및 走査電子顯微鏡寫眞
연삭숫돌은 많은수의 절삭날로 構成되어 있기 때문에 하나의 입자의 研削作用에 의하여 연삭방향으로 생기는 긴 골(groove) 위에 重疊된 골(overlapping groove)을 형성하는 것이 일반적인 연삭표면이다.

이러한 표면은 연삭표면의 基本特性으로 간주할 수 있으며, 이러한 흠의 形成過程은 개개의 연삭입자에 의하여 형성되는 한 방향의 무늬(layer)의 結合으로 설명할 수 있다. 이와같은 연삭표면의 특성은 연삭조건과 연삭숫돌의 절삭면의 特性에 依存한다.

형성하는 것은 아니지만 일반적으로 이 crater의 형성은 떨어져 나간 숫돌조각의 量이 많을수록 crater는 많이 형성되며 결국 표면거칠기는 나빠지게 된다. 그러나 이러한 crater는 숫돌의 마모영역에서 한번 형성되면 숫돌의 이 영역에서는 다시 crater를 생성



(a) Down Feed : 10 μ m with Coolant, 400x



(b) Down Feed : 25 μ m with Coolant, 400x

Photo. 3-1 Optical Micrographs of ground Surface
(Table Feed : 18m/min), Cross feed : 0.5mm/pass

Photo. 3-1의 (a), (b)는 횡방향 이송 18m/min, 종방향 이송을 0.5mm/pass로 일정하게 한 상태에 게 연삭깊이를 10, 25(μ m)로 변화시킨 경우에 습식 연삭에 대한 연삭면을 나타낸 것으로 이들 그림에서 보면 건삭에 비하여 연삭표면은 거칠게 研削 되었음을 알 수 있으며 이는 연삭 작업 부위의 온도차에 의한 것으로 사료되며, 또한 열의 존재는 공작물의 플로잉 현상뿐만 아니라 摩耗된 연삭숫돌에 공작물의 조각(detritus)의 附着을 쉽게 한다. 또한 플로잉 현상과 비슷한, 높은 연삭온도와 압력에서 숫돌입자에 의하여 除去된 조각들이 공작물 표면에 다시 달라붙는, 再融着(back transfer) 현상이 Photo. 3-2에서 보이고 있으며 이 현상은 어떤 연삭조건하의 작업에서도 정도 차이는 있으나 모두 나타나는 現象이지만 연삭숫돌의 마모가 進展될수록 심해질 것이다.

모든 숫돌입자의 떨어져 나간 조각들이 crater를



Photo. 3-2 A Surface Showing Back Transferred Particles, 400x (Table Feed : 1mm/pass, Down Feed : 10 μ m, with Coolant)

시키지 않으며, '4' 또한 연삭숫돌을 새로이 드레싱할 때 부서지는 입자에 의해서도 crater가 생성될 수 있으므로 드레싱에서도 주의할 필요가 있다.

연삭표면은 공작물-연삭숫돌의 상대운동에 의하여 평행한 긴 골(groove)을 나타내고 있으며 이러한 골에서는 塑性流動이 觀察되며, 또한 이 영역에서 dimple현상도 관찰되고 있다. 高倍率에서는 취성과 파괴된 영역이 확실히 나타남을 아울러 관찰할 수 있으나, 일반적인 연삭작업의 결함은 연삭조건변화에 관계없이 대체로 비슷한 缺陷들이 발견되며 그 결함영역은 대단히 적다. 또한 空洞(cavity)現象 및 再融着(back transfer)現象, 플로잉(ploughing)현상 등을 볼 수 있으며, 空洞안에서는 空隔(voids)現象을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 횡방향 이송이 증가할수록 그 발견되는 頻度數 및 크기에 있어서 증가함을 알 수 있으며 같은 조건의 건식 연삭에서는 그 범위 및 빈도수가 약간 적음을 관찰할 수 있었다.

4. 結 論

本 研究에서는 機械 構造用 炭素鋼(SM20C)에 대하여 研削條件 및 方法의 變化에 따른 試驗片의 表面 및 表面밑 部分의 舉動을 내용으로 하는 表面性狀을 糾明하기 위하여 表面거칠기의 周波數 領域에서의 解析, 表面밑 部分의 殘留應力 分布, 表面의 顯微鏡 寫眞 및 走査 電子 顯微鏡에 의한 표면부위의 缺陷을 糾明하였으며 이 結果를 요약하면 다음과 같다.

1. 橫方向 移送이 증가함에 따라 乾式 및 濕式 모두 表面거칠기는 증가하고 있으며, 表面形狀曲線을 周波數 領域에서 해석한 自乘 平均 거칠기는 統計의 意味이므로 그 증가율은 최대거칠기 보다 적다. 또한 자승 평균거칠기에 影響을 주는 周波數 領域은 200Hz이내이며, 特定 周波數의 支配的 影響은 나타나지 않았다.

2. 表面거칠기의 增加率을 비교하여 볼때 縱方向 移送에서 그 率이 가장 큰 것으로 보아 本 實驗에

적용한 研削條件中 縱方向 移送이 가장 많은 影響을 미침을 알 수 있으며, 自乘 平均 거칠기에 影響을 주는 周波數 領域은 역시 200Hz이내이며 특정 주파수의 支配的 影響은 볼 수 없다.

3. 濕式의 경우에서는 橫方向 移送이 增加 할수록 引張殘留應力은 점차 減少하고, 壓縮殘留應力은 增加하여 應力의 待號가 바뀌게 되는 遷移點은 研削 및 이에 直角인 方向 모두 表面域으로 가까워진다. 또한 最大殘留應力은 橫方向 移送 증가에 따라 두방향 모두 引張에서 壓縮으로 전환된다. 乾式에 있어서는 橫方向 移送이 증가함에 따라 引張殘留應力이 증가하다 23m/min에서는 오히려 引張殘留應力이 減少하고 壓縮殘留應力이 增加함을 알 수 있다. 따라서 遷移點 역시 研削 및 이에 直角인 方向 모두 약간씩 깊어짐에 볼 수 있다.

4. 縱方向 移送 증가에 따라 引張殘留應力은 減少하며 乾式의 경우 1.5mm/pass이후에서는 壓縮殘留應力만 存在하며 그 크기는 점차 커지고, 따라서 最大殘留應力 역시 두방향 모두 引張에서 壓縮으로 轉換되나, 壓縮 最大殘留應力에서는 縱方向 移送 增加에 큰 影響을 받지 않는다.

5. 研削作業에서는 重疊된 골을 形成하는 것이 일반적인 研削表面이며, 空洞, 空隔, 플로잉 現象, 再融着 現象, crater, 塑性流動, debris의 融着과 같은 缺陷들은 어떤 研削條件에서도 그 頻度數에서 차이는 있지만 항상 존재하며 이들이 表面거칠기에 影響을 미침을 推測할 수 있다.

참고문헌

1. Tarasov, L. P., Some Detection, causes and Prevention of Injury in Ground Surfaces, Trans. ASM, Vol. 36, 1956, p. 389.
2. Christenson, A. L., The Measurement of Stress by X-Ray, SAE, TR-182, 1960, pp. 601~610.

3. Field, M., Kahles, J. F., Koster, W. P.,
The Surface Effects Produced in
Nonconventional Metal Removal-
Comparison with Conventional Machining
Techniques, Metals Engineering Quarterly
American Society for Metals, Vol. 39,
1966, pp. 32~45.
4. Field, M., Kahles, J. F., Review of
Surface Integrity of Machined
Components, CIRP, Vol. 20, 1971, pp. 153
~162.
5. 苦林 三記夫, 中山 守, 巨視的および微視的
残留應力の解析 - 有向性加工層の残留應力に
關する 基礎的研究, 精密機械, 44巻 6號,
pp. 58~64.
6. 苦林 三記夫, 中山 守, 玉村 謙太郎, 有向性
加工層の残留應力に關する研究 - 加工法の影
響, 精密機械, 49巻 9號, pp. 48~54.
7. Peters, J., Continuous Measurement of
Residual Stress in Thin Cylindrical Pieces
Using Deflection - Etching Techniques,
Proc. SME, Int. Conf., 1973, pp. 262~
281.
8. 貴志 浩三, 江田 弘, ロール 圓筒研削加工層
の残留應力に關する實驗的研究, 精密學會秋
季大會, 1972, pp. 21~28.
9. 岡村 健二郎, 中島 利勝, 宇野 義幸, 過渡的
切削過程における表面特性の研究 - スハー
クアウト完了後の残留應力, 精密機械, 43巻
7號, pp. 50~55.
10. Mashra, A., Prasad, T., Residual
Stresses due to a Moving Heat Source,
Int. J. Mech. Sci., Vol. 27, 1985, pp. 573
~581.
11. 本多 良辰, 杉田 忠彰, 松井 正己, 研削仕上
面粗さの週期性に及ぼすトレンシング條件の
影響, 精密機械, 50巻 2號, 1984, pp. 31~
36.
12. 臼井 英治, 切削・研削加工學(下), 公立出
版, 東京, 1986, p. 18, p. 136.
13. 鹿田 順生, 伊東 祐光, 菊地 蕙, 電解加工
における各種加工液の加工特性について, 精
密機械, 36巻 2號, 昭和44年, pp. 94~100.
14. Bhateja, C. P., The Intrinsic
Characteristics of ground Surfaces,
Abrasive Engineering Society's
International Technical Conference, 1975,
pp. 139~147.