

大型プラントの補修に用いる硬質肉盛溶接材料の仕上げ加工の自動化

Automation of grinding process after hard facing by welding for giant equipments

日本工業大学 深谷 健介 (16154)* (株)ウェルディングアロイズ・ジャパン 白石 陽一
日本工業大学 ニノ宮 進一 (12200)

1. はじめに

巨大プラントの補修やメンテナンスは、多大な労力や費用が発生し、企業の生産性を大きく低下させる要因である。火力発電の石炭燃料や、セメント原料、製鉄所の水砕スラグは、全高 20m を超える大型堅型ミルを複数個利用して粉砕されるが、使用頻度に伴ってミルの粉砕ローラが部分的に摩耗(偏摩耗)するため、交換や補修を余儀なくされている。現在は、偏摩耗した粉砕ローラを修正可能な段階において、現場にて摩耗箇所に硬質材料を肉盛溶接して補修する方策が採用されることもある。しかし、補修作業のさらなる高能率化・高精度化の要求は高い。

硬質金属(HRC63 以上)を自動で肉盛溶接した後、最終形状を整えるために研削仕上げが施される。硬質肉盛溶接材は、耐摩耗性や耐食性に優れる反面、この材料自身を加工する際の加工能率が著しく低く、安定せず、さらには砥石の異常摩耗を引き起こす。そのため、研削仕上げ工程を自動化することが容易ではなく、熟練作業者が経験的に選定した加工条件で対応している。その他、研削時の騒音や粉塵などの諸問題もある。

そこで本研究では、プラント用堅型ミルを対象とし、肉盛溶接後の研削仕上げ工程の問題点を整理して、機能性評価による研削仕上げ条件の最適化をラボレベルで行った。得られた最適条件を実生産機に採用した結果、加工の安定化と砥石摩耗抑制など効果を確認でき、自動化への指針を得たので報告する。

Kensuke Fukaya (m11fukaya@hotmail.co.jp)
:Nippon Institute of Technology
Yoichi Shiraiishi : Welding Alloys Japan Ltd.
Shinichi Ninomiya : Nippon Institute of Technology

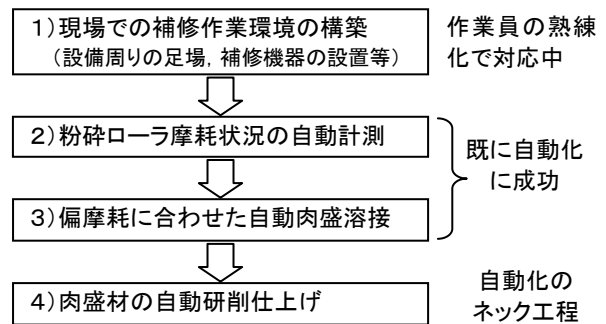


図1 堅型ミル補修作業の流れと現状技術

表1 研削仕上げ工程の自動化の隘路

0. 大型プラントの現場対応に伴う制約(汎用性の要求)
①装置の軽量化と小型化 ②装置剛性の確保が困難
③劣悪な環境下で故障しない ④装置の設置の容易さ必須
1. 難加工材料なので、加工能率が著しく低い
2. 砥石の摩耗が大きい
3. 大きな加工力が必要(高トルクモータが必須)
4. 加工精度の管理が難しい
5. 加工音が大き(騒音問題)
6. その他(加工熱の発生, 作業環境, etc.)
7. 加工後の切屑の処理(粉塵対策等)

2. 対象技術の基本機能の検討および実験条件

2.1 研削仕上げの問題点の整理

対象となる堅型ミルは、重量5トンを超える粉砕ローラが複数個搭載されており、その交換は容易では無い。また、堅型ミルの用途である粉砕工程は、その多くが生産プラントの上流に位置付けられ、ラインが停止すると、生産性に甚大なロスが生じる。そのため、偏摩耗した粉砕ローラを現場で迅速に補修する必要がある。

対象技術の全体概略を図1に示す。この手順で堅型ミルの現場での補修作業が進められる。既に、偏摩耗部への肉盛溶接技術の自動化には成功している。技術の源流を鑑みると肉盛溶接技術の機能性評価を

実施することも考えられるが、本研究では、最もネック工程となっている研削仕上げを対象とした。

研削仕上げの自動化に向けての問題点は、表1のように多くの項目が挙げられる。まず、大型プラントでの現場作業に伴う制約も多く、また、被加工材の加工難易度が高いことも自動化の隘路となっている。現状では、現場での制約から、グラインダに取り付けた自由研削砥石による単純な加工方法が採用され、作業者の経験と勘で加工条件が決定されているが、良い解決策が得られていない。そこで、実験室レベルでエネルギーの入出力を考慮した機能性評価を行い、最適加工条件の導出を試みた。表1中の1～6までを網羅できると考え、7の粉塵問題は別のシステムとして検討した。

2.2 研削仕上げの機能とパラメータ設計実験

肉盛溶接後の研削仕上げの機能は、図2のように、グラインダに使用した消費電力と被加工材の除去(仕事)のエネルギーの比例性とした。実験では、設定時間(60s, 120s, 180s)での被加工材の除去重量に対する消費電力の累積を評価した。

上記の機能を評価するために使用した機器を表2に、簡易加工システムの外観を図3に示す。支柱に汎用グラインダを固定して、エアガイドに把持した被加工材を一定圧力で押しつけることで定圧研削する。グラインダ主軸モータに電力計を接続して、加工時の消費電力を測定しPCレコーダで記録した。被加工材は、 $\square 20\text{mm} \times t5\text{mm}$ の複合炭化物系溶接材料(インテグラ 300:HRC63~68)とした。

2.3 誤差因子と制御因子

誤差因子は、砥石が摩耗して砥石径が変化しても安定した加工が持続することを考慮して、砥石径の違い(外周側:N1と内周側:N2)を選定した(図4)。加工時の消費電力の波形の乱れ(MAX値:N'1, MIN値:N'2)も誤差因子として評価した。

制御因子(表3)は、現場で変更可能な因子に加え、新しくE~Hを設けて、 L_{18} 直交表に割り付けた。なお、Cの結合度は、2水準なのでC3をダミーとした。

2.4 パラメータ設計実験結果および考察

直交表に従って実験した際の主軸消費電力のモニタリング波形の一例(14行目:N2のM3(180s))を図

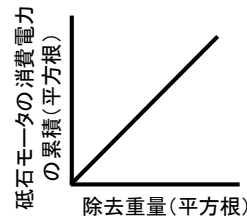


図2 研削仕上げの基本機能

表2 実験装置

【汎用グラインダ】
G185P(日立工機)
【電力計】
3331(HIOKI)
【PCレコーダ】
NR-350(KEYENCE)

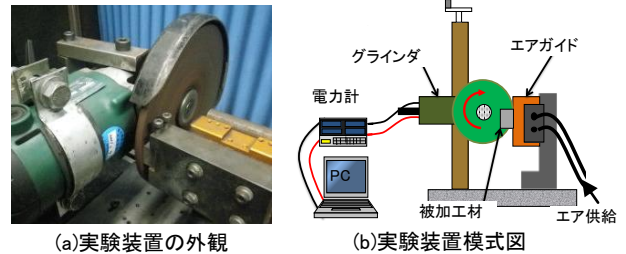


図3 ラボレベルでの仕上げ研削評価装置

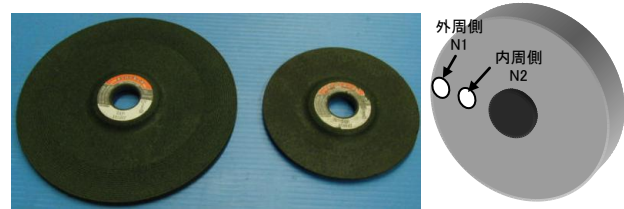


図4 砥石の外観と加工位置(N1, N2)

表3 制御因子と水準

	水準1	水準2	水準3
A:粒度	大	小	
B:砥粒の種類	WA	Zr	QB
C:結合度	硬	柔	柔(ダミー)
D:押付圧力	小(35N)	中(70N)	大(105N)
E:押付方法	連続	間欠(30s)	間欠(10s)
F:加工液	無	有(少)	有(多)
G:エア	無	有(通常)	有(冷気)
H:プレヒート	無	有(50°C)	有(100°C)

5に示す。実験は、突入電力後に空転時の無負荷電力値が安定してから加工を開始した。信号因子の水準毎に実験して、加工中の消費電力の最大値と最小値、除去重量を求め、それぞれを累積して評価した。消費電力は、空転時の消費電力のばらつきを考慮して、加工時の消費電力のみの値を算出した。なお、1行分(13行目)だけ欠測値が現れたが、逐次近似(2次近似)によって対応した。

2.5 解析1(通常のデータ処理)

この実験では、まず、3水準の加工時間(60s, 120s, 180s)に対する除去量を信号因子とし、基本機能1(除去重量と消費電力の関係)で評価した。しかしながら、紙面上、詳細は割愛するが、確認実験の再現性が全く得られなかった。

2.6 解析2 (解析の見直し・工夫と再評価)

解析1で再現性が低い理由について検討した。定圧研削では、加工時間に伴って材料除去が進むが、硬質材料を加工する場合、砥石の上滑りや異常摩耗など加工が安定しないことがある。この非常に不安定な状態の機能性評価を試みているが、各行において、同じ単位時間であっても除去量に大きな差異が出る場合がある(図6(a))。そのため、除去量が低くても、感度(消費電力)が低ければ、見かけ上のSN比が高い解析になる恐れがある。しかし、定圧研削で除去量(信号因子)を一定間隔に設定することは容易ではない。したがって、 L_{18} 直交表中の実験結果で得られた最大の除去量(例えばLi行目が最大除去量の場合)を基準として、その最大除去量になるだけの時間を算出して係数化し、各行(Lj行目)の消費電力値に対して時間の係数を乗じて再評価した(図6(b))。この際、誤差因子N'(消費電力のMAX値, MIN値)は、拡大されないように留意した。得られた要因効果図を示す(図7)。図より、SN比を重視し、感度が低くなる(低い消費電力で多くの仕事をする)条件を選定して最適条件とした。現行条件のA1-B3-C1-D3-E1-F1-G1-H1に対して、最適条件はA1-B2-C2-D1-E3-F3-G1-H3となった。確認実験の結果を表4に示す。SN比の利得は大きく、再現性も高いことがわかった。また、感度は現行条件に比べて低くなることが確認できた。確認実験時(加工時間180s)での、現行条件と最適条件の除去重量に対する消費電力の推移、および除去量がほぼ同様になるように最適条件で時間を延長して実験した結果を図8に示す。最適条件では、誤差因子に対するばらつきが抑制され、感度も低くなっていることがわかった。

3. 実生産機への適用

パラメータ設計で得た最適条件を実際の生産現場へ適用した。試作した自動研削装置(実生産機)と被加工材の仕様を表6に示す。加工対象には実際の製品である型ミルの粉砕ローラの表面に硬質肉盛溶接(MILL400)を施したものを用いた。被加工材が大きく加工後の除去重量の精密な測定は困難なので、加工中の消費電力の推移、加工前後の砥石摩耗重量

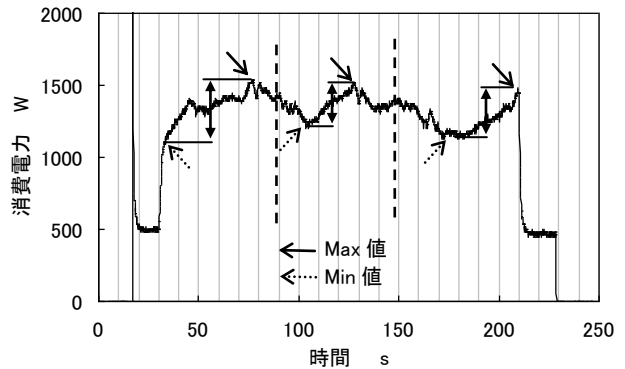


図5 消費電力波形の例(14行目 N2_180s)

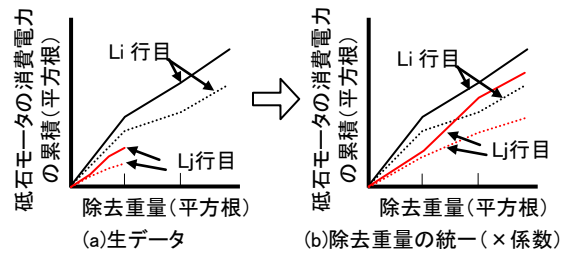


図6 データ解析方法の見直し

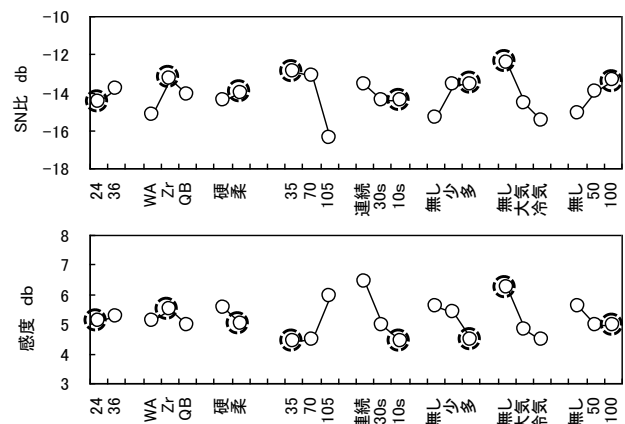


図7 要因効果図

表4 確認実験結果

	SN比		感度	
	推定	確認	推定	確認
最適	-9.3	-6.7	3.9	5.4
現行	-16.8	-12.8	9.3	7.5
利得	7.4	6.2	-5.3	-2.1

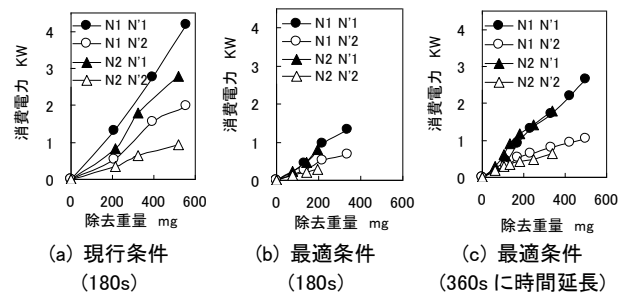


図8 確認実験時(180s)の生データの比較と最適条件で時間延長(360s)して加工した結果

および加工面性状を確認した。実際の加工の状況を図9に示す。ローラをゆっくりと回転させて、1周分を加工して評価した。

消費電力(図10)は、現行条件に比べて最適条件では大幅に低減し、時間に伴う安定性(絶対値の推移)が高いことがわかった。最適条件での砥石摩耗重量(図11)は、現行条件の1/3に大きく低減する結果を得た。加工後の被加工面性状(図12)をみると、両者も十分な材料除去が確認できたが、現行条件では部分的に研削焼けの後が見受けられ、一方、最適条件では研削焼けのない滑らかな被加工面が得られた。

4. 本研究成果の整理と自動化への指針

対象技術である研削仕上げでは、自由研削砥石を用いた単純加工が採用されるため制御因子が少なく、現場ではとにかく強く押し付けて高効率に加工することだけが優先されていた。そのために高トルクモータが必須となった。しかし、すぐに砥石の切れ味が低下して、砥石目替わりを頻繁に起こさせて加工せざるを得なかった。本研究で得た最適条件では、低い安定した消費電力で加工ができ、かつ、対象技術の問題点であった砥石摩耗も大幅に抑制できる。被加工面性状についても良好になることがわかった。すなわち低トルクモータの利用が可能である。除去能率の低下が懸念されるが、使用する砥石モータの容量を低くできるので複数の砥石の使用が容易となり、かつ砥石摩耗が1/3になるので、例えば、3連ヘッド(砥石3個)で加工すれば、結果として除去能率は現状に比べて1.5倍に向上できることを示した。このことは、今後の新しい加工システムへの展開に対して大きな知見を得た。

騒音についても、騒音デシベルの比較および周波数解析にて検討したが、最適条件でも大きな改善は見られなかった。この理由は、使用した高トルクモータ自身の音が大きく、加工音がモータ音に埋もれているためである。これもモータ仕様の変更で対応できる。残りの問題点は、本技術での対象外であった粉塵問題への対応だけだが、集塵機の形状の工夫で対応できると考えている。

表5 自動研削装置および被加工材の仕様

項目	主な仕様
自動研削装置	電子グラインダ(日立工機 G18Y1) エアシリンダ(シリンダ径:φ20mm) 円心揺動(クランク回転量:φ25mm)
押付け圧力	0.1~0.45MPa(2.5~10kgf)
砥石径・取付角度	180mm・約15°
被加工材	微粉炭機用粉碎ローラ:φ916mm (高クロム鋳鉄+硬化肉盛(MILL400))
加工速度	4.0mm/s, (総加工時間 11min24s)
騒音計測器	精密騒音計(RION ML-31)
周波数計測器	Soft Tuner 測定距離 500mm



図9 自動研削装置による加工の状況

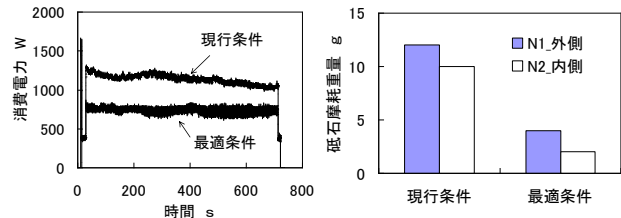


図10 消費電力の比較 図11 砥石摩耗重量の比較



(a) 現行条件 (b) 最適条件

図12 被加工面性状の比較

5. おわりに

大型プラントの補修に用いる硬質肉盛溶接材料の研削仕上げの問題点を整理し、ラボレベルでパラメータ設計を行い、最適化を試みた。実験結果を実生産機に応用し、実用できることを確認した。生産現場でのこれまでの固定概念を覆すような有用な結果が得られると共に、本技術の自動化の指針となった。

今後は、前工程である肉盛溶接技術についても、品質工学による最適化を試み、さらなる技術開発に繋げていく予定である。

参考文献

1) 矢野宏：品質工学計算法入門，日本規格協会