

特殊な面粗度要求に対する研磨方法の研究

日本製鋼所 M&E 株式会社 ○岩泉 昌宏 今村 祐輔 俣野 実
要 旨

鍛鋼品の機械加工における面粗度は図面等で指示される上限値に対し、それ以下に仕上げることが一般的である。しかし、使用用途によっては Ra や Rz と異なる特殊なパラメータが要求される場合がある。弊社では、数種類のパラメータで上限および下限値が要求された大型軸物製品を受注したが、これまでそのような加工の経験が無く、さらに旋盤以外の加工機はサイズの適用不可であった。本報では旋盤による超仕上げを実施し、この要求を満足する結果が得られたので、その詳細を報告する。

1. 緒 言

切削加工や研磨加工において要求される加工面の面粗度は Ra (算術平均粗さ) 等に代表される粗さパラメータによって指示される上限値に対し、それ以下となるように加工することが一般的である。しかし、今回受注した大型軸物製品では面粗度が数種類の粗さパラメータにおいて指定された範囲内に収めるといった厳しい要求があった。このような面粗度要求の加工経験が無く、さらに製品サイズの関係で旋盤以外は使用できないという制約があった。そこで、旋盤において厳しい面粗度要求を満足する加工方法の検討を行った。

2. 粗さパラメータと求められる表面性状

表 1 に本製品において要求される粗さパラメータと要求値を示す。本製品においては、一般的粗さパラメータである Ra、Rt の他に Rk、Rpk、Rvk というパラメータによる要求値が示されている。これらは図 1 のように粗さの負荷曲線において最も傾きの小さくなる等価直線によって分割された各層の高さを示しており、輪郭曲線の形状を縛るパラメータと言える。

以上のことを踏まえると本製品は一定の谷部深さを維持しながら Ra と Rt を満足する表面性状が必要と解釈できる。

表 1 粗さパラメータと要求値

粗さパラメータ	要求値
Ra (算術平均粗さ)	$0.05 \leq Ra \leq 0.30$ (μm)
Rt (粗さ曲線最大断面高さ)	≤ 2.50 (μm)
Rk (コア部のレベル差)	$0.25 \leq Rk \leq 0.70$ (μm)
Rpk (突出山部高さ)	≤ 0.50 (μm)
Rvk (突出谷部深さ)	$0.20 \leq Rvk \leq 0.65$ (μm)

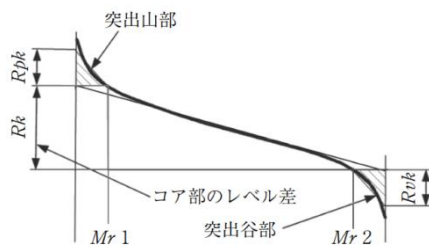


図 1 Rk、Rpk、Rvk のパラメータ

3. 研磨手法の検討

前述した面粗度を切削加工で得ることは困難であり、加工後に旋盤上で研磨仕上げを行う必要がある。また、その研磨範囲は直径 $\phi 1250\text{mm}$ 長さ 2800mm と非常に広く、安定した研磨力を長時間持続させる必要がある。これらを踏まえ、旋盤上での研磨方法について検討を行った。

3-1. ベルト研磨による表面仕上げ

まず、Ra $0.8\mu\text{m}$ 以下の面粗度要求時に使用するベルト研磨機を用い、粒度 #360 の研磨ベルトで実機と同範囲を研磨する試験を実施した。表 2 に複数点で測定した各粗さパラメータの値を示す。Rpk 値は要求を満足しているが、それ以外は要求を逸脱し、値もバラつく結果となった。これ以上研磨ベルトの粒度を細かくすると最後まで研磨力が維持することが難しい。そのため、ベルト研磨では要求値を満足することが難しいといえる。

表 2 ベルト研磨 (#360) による面粗度

粗さパラメータと要求値	測定箇所A	測定箇所B	測定箇所C	測定箇所D	測定箇所E
Ra $0.05 \leq Ra \leq 0.30$ (μm)	0.26	0.28	0.34	0.30	0.28
Rt ≤ 2.50 (μm)	2.78	3.47	3.99	2.97	2.99
Rk $0.25 \leq Rk \leq 0.70$ (μm)	0.80	0.74	1.00	0.90	0.87
Rpk ≤ 0.50 (μm)	0.21	0.14	0.29	0.24	0.18
Rvk $0.20 \leq Rvk \leq 0.65$ (μm)	0.59	0.73	0.71	0.63	0.56

3-2. 超仕上げ加工による加工面仕上げの検討

安定的な研磨力を得るため、超仕上げによる研磨方法を検討した。超仕上げとは砥石に小さな振動(オシレーション)を与えながら、低圧で押しつけることで円筒状の加工ワークの表面を滑らかに仕上げる精密研磨方法である(図 2 参照)。一般的には $0.1\mu\text{m}$ 以下の面粗度に仕上げする際に適用される研磨方法だが、使用する砥石と研磨条件を最適化することで要求面粗度を満たすことができないか試験を実施した。

3-2-1. 粗研磨の検討

切削加工の送り目除去と充分な突出部谷深さ(Rvk)確保を目的とした粗研磨の試験を行った。表 3 に加工条件、表 4 に砥石の仕様、表 5 に粗さ測定値と砥石の摩耗量を示す。使用する

砥石については安定した研磨力を得るため砥粒を WA に固定し、粒度と結合度を変えたものを用意している。

試験の結果、切削送り目の除去と Rvk 値を大きく(粗く)するには粒度 #500 程度が最も適しており、それ以上粒度が細くなると十分な Rvk が得られず、仕上げ研磨時に下限を逸脱する可能性があることが分かった。また、長時間の研磨に耐えるには砥石の摩耗が少ないことが重要となるが、今回の試験では結合度 H 程度が最も摩耗の進展が少なく、長時間の研磨に適するという知見が得られた。

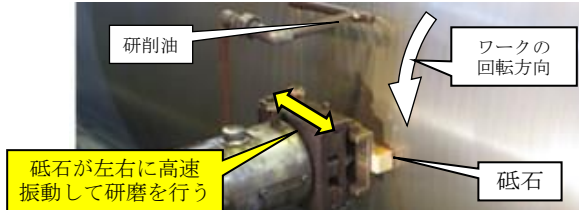


図2 超仕上げの様子

表3 加工条件

ワーク周速 (m/min)	7
砥石送り (mm/rev)	15
振動振幅 (mm)	2.5
砥石押圧 (kgf)	2.5
砥石サイズ (mm)	60×30×25

表4 粗研磨砥石の仕様

	砥石A	砥石B	砥石C	砥石D
砥粒	WA			
粒度	#500	#500	#500	#800
結合度	H	E	I	E

表5 粗研磨試験の結果

		砥石A	砥石B	砥石C	砥石D
粗さ (μm)	Ra	0.49	0.36	0.33	0.29
	Rt	6.04	3.61	3.02	3.32
	Rk	1.53	1.07	0.78	0.35
	Rpk	0.53	0.34	0.57	0.35
	Rvk	0.81	0.79	0.94	0.47
砥石摩耗量 (mm/min)	0.01	2.95	3.50	0.19	

3-2-2. 仕上げ研磨の検討

仕上げ研磨では粗研磨で得られた面において、突出山部 (Rpk) とコア部 (Rk) の一部山側を除去し、各粗さパラメータが要求値を満たすことが求められる。そこで、これら为了满足するための仕上げ研磨試験を実施した。表6に砥石の仕様、表7に粗さ測定値と砥石の摩耗量を示す。加工条件は粗研磨(表3)と同条件としている。

試験の結果、粒度 #1000 の砥石で各粗さパラメータの要求値をほぼ満足することができたものの、Ra と Rt 値についてはほとんど余裕がなく、一部範囲を逸脱する結果となった。その後、さらに複数回の試験を繰り返したが、Ra と Rt 値は上限付近でばらつく傾向が見られた。これは砥石の脱粒によってランダムに生じるスクラッチや微細なバリが影響しているものと推測される。そのため、加工面の仕上がり状況によってさらに表層面を調整する研磨方法が必要となった。

また、砥石の摩耗については硬めの結合度 K の砥石 F の摩耗量が少なく広範囲の研磨に適するという知見が得られた。

表6 仕上げ砥石の仕様

	砥石E	砥石F
砥粒	WA	
粒度	#1000	#1000
結合度	I	K

表7 仕上げ研磨試験の結果

	砥石E	砥石F	要求値	
粗さ (μm)	Ra	0.33	0.19	0.05 ≤ 0.30
	Rt	2.26	2.43	≤ 2.50
	Rk	0.38	0.56	0.25 ≤ 0.70
	Rpk	0.13	0.25	≤ 0.50
	Rvk	0.28	0.41	0.20 ≤ 0.65
砥石摩耗量 (mm/min)	0.67	0.01	-	

3-2-3. 調整研磨の検討

前述の結果を踏まえ、スクラッチ等の影響を受けにくい研磨方法として、砥石の代わりに不織研磨材を用いた超仕上げの加工試験を行った。試験は砥石 F による仕上げ研磨後の状態から表3と同じ加工条件で実施している。研磨量は極わずかであることから、評価は研磨前と研磨後における各粗さパラメータが改善した量の平均値にて行っている。表8に研磨材の仕様、表9に調整研磨前後における粗さの改善量を示す。

試験の結果、#100 程度の粒度を持つ不織研磨材(研磨剤①)であれば仕上げ研磨後の状態から Ra と Rt を改善する効果があるという知見が得られた。Rk や Rpk 値に変化がないことから不織研磨材による研磨は主にごく表層部のバリ等を除去する程度にとどまっており、輪郭曲線に影響する研磨出来ないと思われる。

以上の結果を踏まえ、実機加工では粗研磨⇒仕上げ研磨⇒調整研磨と段階的な超仕上げを行いすべての粗さパラメータを満足することが出来た。

表8 不織研磨材の仕様

	研磨材①	研磨材②
砥粒	WA	A
粒度	#100	#240
結合度	S相当	-

表9 調整研磨後の粗さ改善量

		研磨材①	研磨材②
粗さの改善量 (μm)	Ra	0~0.1	変化なし
	Rt	0.1~0.2	変化なし
	Rk	変化なし	変化なし
	Rpk	変化なし	変化なし
	Rvk	変化なし	変化なし

4. 結言

本報では表面粗さが数種類のパラメータで上下限値を指定された大型軸物製品において、その要求を満足する加工方法の検討を行い、以下の結論を得た。

- (1) ベルト研磨機を用いた研磨では粗さパラメータのバラつきを抑えつつ、一定の範囲内に収めることは難しく、要求される面粗度を得ることは難しい。
- (2) 使用する研磨剤(砥石、不織研磨材)を最適化した超仕上げによって、広い範囲を安定的に一定の粗さ範囲に収める加工方法を確立した。

参考文献

- 1) JIS B 0601:2013 製品の幾何特性仕様(GPS)－表面性状:輪郭曲線方式－用語、定義及び表面性状パラメータ(ISO4287:1997)
- 2) JIS B 0671-2:2002 製品の幾何特性仕様(GPS)－表面性状:輪郭曲線方式;プラトー構造表面の特性評価－第2部:線形表現の負荷曲線による高さの特性評価(ISO 13565-2:1996)