

## 遠心圧縮機用 17-4PH ステンレス鋼製大型インペラ素材

### 1. はじめに

石油化学プラントやガスパイプラインなどで使用される遠心圧縮機用インペラは、生産性効率化などの観点から大型化が求められており、かつ、高速回転体であるため高い信頼性が要求される。

当社は 150ton ESR (Electro Slag Remelting: エレクトロスラグ再溶解) 装置<sup>(1)</sup>や 14,000ton 自由鍛造プレス<sup>(2)(3)</sup>を保有しており、大型の鍛鋼品を高清浄で製造する技術を強みとして、これまでに発電所向けタービンローター軸材など多数の高品質な鍛鋼品を市場に送り出してきた。

これらの設備や技術を活用し、昨今のインペラ大型化へのニーズに応えるべく、外径φ 1.9m クラスの大型インペラ素材を製造したのでその取り組みについて紹介する。

### 2. 17-4PH 製インペラ素材の製造

インペラは腐食性のガスに晒され、高速回転による遠心力が加わる。そのため、耐食性と高強度を併せ持つ鋼種として、主に析出硬化系ステンレス鋼(SUS630 / 17-4PH)が使用される。しかしながら、本鋼種は水素割れ感受性が高いことが一般的に知られており、なおかつ、製品が大型化するほど、質量効果に伴う残留応力(熱処理に伴う表面引張応力)が大きくなり、割れのリスクが高くなる。従って、割れを防止するためには、鋼中水素量の低減と熱処理時の変態応力を抑えることが有効と考えられる。

図1にインペラ素材の製造工程の概略図を示す。インゴットは電気炉溶解にて電極を溶製した後、介在物低減および偏析抑制のため ESR を実施した。これらの製鋼プロセスにおいては、水素割れの防止を目的として、水素混入防止を徹底することにより鋼中水素量を改善前に比べて約3割低減することに成功した。写真1にφ1100mm ESR インゴットの外観を示す。ESR 工程において使用スラグや溶解速度などの溶解条件設定が不適正である場合、インゴットの表面がシワ肌となり、以降の鍛造工程において割れの原因になるなどの悪影響を及ぼすことがある。この予防のため、作業に先立ち、ESR プロセスを模擬した凝固解析ソフトを使用して適正な溶解条件の検討を行っており、結果的に今回製作した 17-4PH 製の大型 ESR インゴットにおいても良好なインゴット肌を得ることができた。

次に鍛造工程においては、超音波探傷試験における超音波透過性確保の観点から結晶粒の微細化が求められる。粒成長抑制のため、鍛造加熱温度は極力低くするが、低温ほど変形抵抗が大きくなり鍛造プレスの力量が求められる。また、材料歩留改善や機械加工時間の短縮などの観点から、納入形状に近い形(ニアネット)に仕上げるのが好ましい。そのため、金型を使用した型入れ鍛造を行うが、この場合、素材と金型との接触面積が広くなり抜熱が大きくなるという問題も生じる。

これらの問題に対し、当社では FEM による塑性流動解析や、製品形状を模擬した鉛模型による鍛造試験を行い、型入れ金型形状の適正化を図ると共に、14,000ton 自由鍛造プレスを使用して強圧下を加えることによって、大型品においても結晶粒の微細化やニアネット成形を可能にしている。

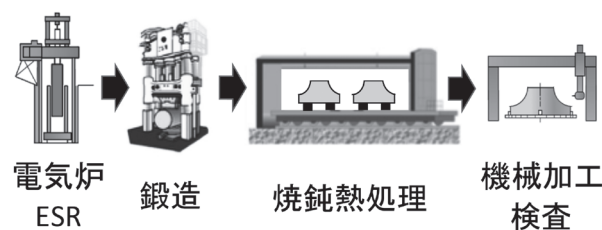


図1 インペラ素材の製造工程の概略図

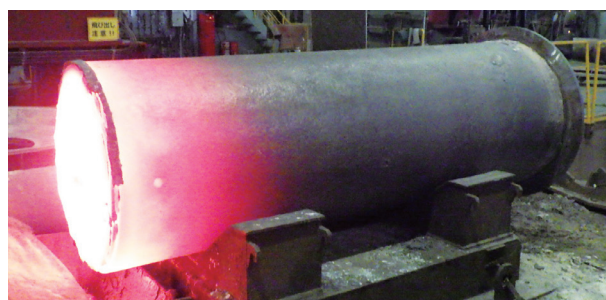


写真1 φ1100mm ESR インゴットの外観写真

また熱処理工程では、熱処理時の変態応力を軽減するために、熱処理形状及び熱処理条件の適正化を図った。当社では相変態に伴う鋼種の熱処理割れ防止を目的として、FEM 解析ソフトに独自のサブルーチンプログラムを組み込むことで計算精度の向上を図っている。図2に解析の概念図を示す。温度—組織—応力の連成関係を考慮した解析を行うことで、冷却過程における部材内の組織分率や作用応力の分布を推定でき、実測値に近い残留

## 製品・技術紹介

応力値が得られる<sup>(4)(5)</sup>。インペラ素材の製造においても本解析ソフトを使用し、割れ発生が懸念される箇所の作用応力が低減される形状および熱処理条件を検討した上、熱処理を行った。

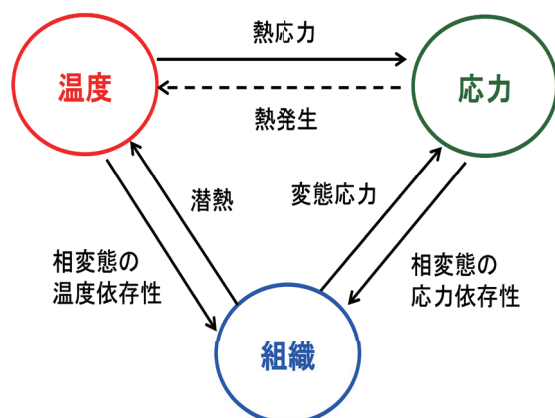


図2 温度—組織—応力の連成関係

### 3. 製造結果

いずれのプロセスにおいても、最大の懸念事項であった割れの発生はなく、超音波透過性や清浄度などの内部品質についても良好な結果が得られ、顧客の要求品質を満足することができた。

### 4. おわりに

製鋼プロセスでの水素低減、ならびに熱処理解析技術を駆使することにより、17-4PH ステンレス鋼の製造課題であった割れを防止することができた。写真2～4に代表的なインペラ素材の外観と寸法を示す。これまでに最大外径φ 1.9m、高さ約 660mm、重量約 7ton の17-4PH 製インペラ素材の製造に成功している。当社ではインペラの更なる大型化ニーズに応えるべく、製造技術開発を進めて行く所存である。

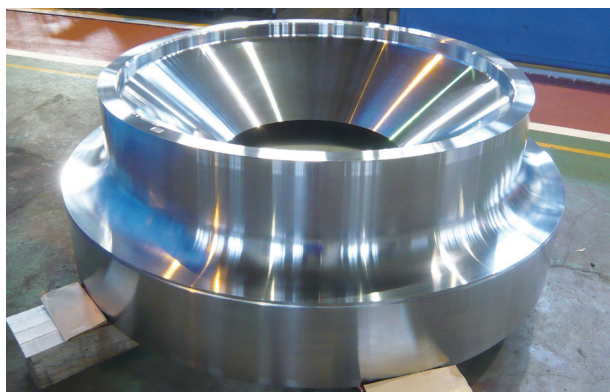


写真2 インペラ素材の外観  
(φ1902 × 657mm、約 7ton)

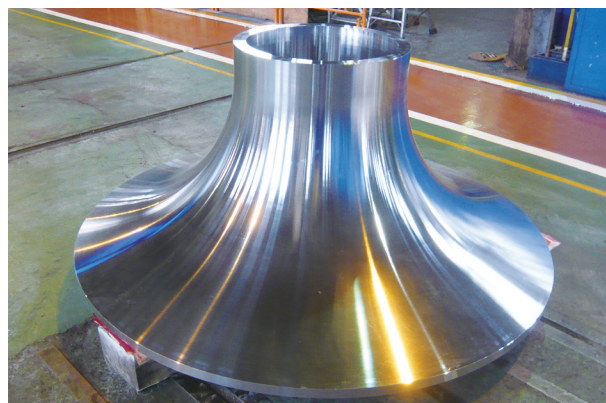


写真3 インペラ素材の外観  
(φ1739 × 715mm、約 3ton)

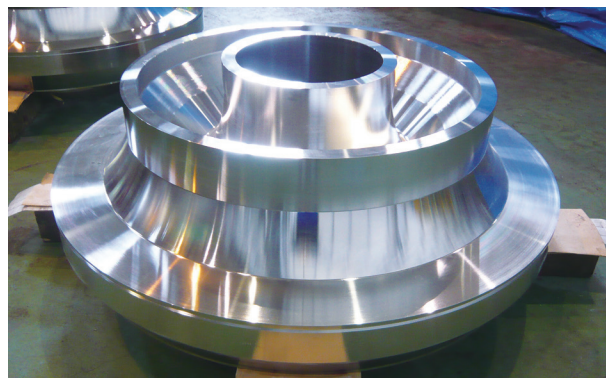


写真4 インペラ素材の外観  
(φ1890 × 650mm、約 7ton)

### 参 考 文 献

- (1) 柏木佑介, 野沢哲, 吉田正一, 大町隆雄, 高橋史生, 上田奏, 坂川孝市, 畑中孝敏, 佐藤修治, 柴田尚: “新150tonESR 装置導入による鋼塊大型化と操業コスト改善”, 日本製鋼所技報, No.63 (2012), pp. 54-61
- (2) 工藤秀尚, 熊谷保之, 斉藤健一, 尾崎信彦, 舟崎光則, 村井悦夫, 唐牛敏晴, 佐藤修治, 早川保, 岩本富雄: “新1万4000 トンプレスの設置”, 日本製鋼所技報, No.55 (2004), pp. 65-71
- (3) 工藤秀尚, 熊谷保之, 奥野寛人, 新居恭征, 佐藤修治, 五十嵐守, 大上裕之: “140MN 油圧鍛造プレスの設置と効果”, 日本製鋼所技報, No.62 (2011), pp. 52-58
- (4) 吉田稔, 岸恭弘, 鈴木茂, 柳沢祐介, 富山秀樹, 藤後宏之, 久保慶起, 藤貴洋: “当社の解析技術の現状と今後の展望”, 日本製鋼所技報, No.68 (2017), pp. 14-26
- (5) 柳沢祐介, 岸恭弘, 南谷昌弘, 齋藤数馬: “変態特性及びクリープ変形を考慮した大型鍛鋼品の熱処理解析”, 日本製鋼所技報, No.69 (2018), pp. 1-8