大型一体鍛造技術が拓く世界の原子力発電*

佐藤 育男^{*1}, 岩本 隆志^{*2}Manufacturing Technology of Large Integrated Forgings
Supporting to Global Nuclear RenaissanceIkuko SATO^{*3} and Takashi IWAMOTO^{*3} The Japan Steel Works, Ltd. Muroran Plant,
4 Chatsu-machi, Muroran-shi, Hokkaido, 051-8505 Japan

Currently, nuclear power is reevaluated as clean energy to reduce greenhouse gas emission in worldwide and so called Nuclear Renaissance. At the start or under planning of construction of new nuclear power plants, it is important to turn round the development and manufacturing of large integrated forgings to improve the safety and reliability of components. In order to support the Nuclear Renaissance, it is necessary to increase the manufacturing capability for forgings.

Key Words: Nuclear Renaissance, Large Integrated Forgings

1. はじめに

近年, 世界各国で地球温暖化対策及びクリーンエネルギーとして原子力発電の役割が再評価され, 「原子力ルネッサンス」の声が大きくなってきている。新規原子力発電所建設が始まっているこの時に, 安全と信頼が不可欠である機器材料の開発の歩みを振り返り, 更なる信頼性向上へとつなげる材料製造および製造能力について考えてみたい。

2. 原子力機器用部材の変遷

昭和30年代に日本でも原子力発電導入の機運が高まり, イギリスで開発された「コールドーホール型のガス冷却炉」の採用が日本の第1号商業炉(16万kW)として決定した。原子炉容器の材料は板厚約100mmのMn鋼で英国/スコットランドで製造されたが, 日本での検査で「割れ状欠陥で不良」と判断され全数廃却となった。代品については防弾鋼板の製造実績から資格審査を経て, 全数要求品質を満足し製作され

た。これが初めての原子力用材料の取組みであった。

その後の原子力発電所の大型化にともない, 鋼板ばかりでなく, 多くの鍛鋼品が世界各国の原子力発電所に納入された。

2・1 原子力発電所の単基容量の増大 原子力発電所の単基容量は約40年の間に急速に大型化し, 現在, BWRでは改良型BWR(ABWR)は138万kW, またPWRではEPR(欧州型PWR)が開発され, 160万kWまでに達している。図1に, 発電単基出力と炉心領域の容器寸法を示す。炉心領域には継目溶接のない一体鍛鋼リングが採用されてきているが, その径及

Fig. 1 Thickness and diameter of core region shell for RPV

* 原稿受付 2008年9月26日。

^{*1} (株)日本製鋼所室蘭製作所(〒051-8505 室蘭市茶津町4)。

^{*2} 正員, (株)日本製鋼所室蘭研究所。

E-mail: takashi_iwamoto@jsw.co.jp

Fig. 2 Improvement of maximum ingot weight

Outer Dia. 5.8 m
Height 3.5 m
Weight 170 ton

Fig. 3 Nozzle shell flange for EPR

Outer Dia. 7.6 m
Height 1.6 m
Weight 80 ton

Fig. 4 Bottom petal for ABWR

び板厚は大きさを増してきている。

2・2 原子炉压力容器用材料 原子炉压力容器用材料は、強度と靱性の要求、被検査性、溶接性及び中性子照射劣化の少ない等要求品質を満足すべく、現在の軽水炉においては Mn-Mo-Ni 系低合金鋼が適用されている。また、単基出力の増大、安全性/信頼性の向上、工期短縮及び供用期間中検査の削減という点から、鍛鋼化、大型化、及び一体化への材料開発は重要である。

大型鍛鋼品を製造するための鋼塊の大きさの推移を図2に示す。

3. 大型一体型鍛鋼リングの代表的実績

開発された大型一体型鍛鋼リングの例を図3、4に紹介する。図3は、160万kW欧州加圧水型(EPR)原子炉压力容器用 Nozzle Shell Flange、8個のノズルが一体化されている。図4は、135万kW改良型沸騰水型(ABWR)原子炉压力容器用下部鏡板ペタル、内外に10個のノズルを一体化したものである。

Fig. 5 Improvement of impurity element P, S contents

(a) Inside press tech.

(b) Outside press tech.

Fig. 6 Forging operation

4. 大型化、一体化鍛鋼品の製造技術

大型化、一体化が実現された鍛鋼品の製造技術を以下に紹介する。

4・1 溶解・精錬・造塊技術 鋼塊内の偏析や空隙の生成は大型化によって凝固時間が長くなるほど顕著になる。したがって、大型鍛鋼品の製造には、不純物元素、非金属介在物などを低減するとともに、偏析、空隙などの生成を抑制した鋼塊の製造技術の確立が重要である。

1980年から取鍋精錬技術を開発し、2回精錬、2重脱ガスが可能となった。取鍋精錬技術の適用は、図5に示すように、極低りん(P)、極低硫黄(S)をも可能とし、材料の高靱性化に大きく寄与してきている。現在、取鍋精錬の処理能力は600tまでにいたっており、このことがRPV用大型・一体化鍛鋼品の開発を成功させている。

4・2 鍛造技術 鍛錬工程では鋼塊の凝固組織を高温拡散と塑性変形を利用して消滅させるとともに、鋼塊内部に形成される空隙を圧着し、健全な内部性状を得る必要がある。大型RPV部材の一部はプレス内での鍛錬が困難な形状にまで大型化したために、1972年に、プレス機外で鍛錬を行う装置が開発された。この技術によって、RPV用リング材の大径鍛鋼品の製造が可能となった。図6に、プレス機内及び機外鍛錬

Fig. 7 New nuclear plants in U.S.A

の状況を示す。

4・3 熱処理技術 大型鋼材の内部品質と機械的性質は熱間加工後の熱処理によって大きく左右される。熱処理工程は焼きならし・焼戻しと焼入れ・焼戻しの2段階で行われる。特に、焼入れ・焼戻しは所定の強度や靱性等の機械的性質の付与を目的とするもので、これらは化学成分や結晶粒度及び冷却速度等の関数として決定される。

4・4 機械加工技術 大型RPV部材は、径8mのターンテーブルを持つNC装置付きの超大型堅施盤にて加工される。図3, 4に示した製品において、ノズル間及びノズル部の最終加工はNC加工となる。CAD-CAM化の採用により、プログラムの精度及び加工精度が向上している。

5. 今後の展望

5・1 原子力発電所の建設計画 地球温暖化防止、エネルギー安定供給の観点から、原子力発電が見直され、世界的に原子力発電所の新規建設が計画されるNuclear Renaissanceと今呼ばれている。

日本国内では、140万kW APWRおよびABWRの建設計画がある。

米国では、2005年に包括エネルギー法の発効に伴

Fig. 8 New nuclear plants in China

い、30年ぶりに2015年運転開始を目標に各電力各社が活動を開始している。図7に示すように炉型は、安全性の追求と長寿命化を考慮した第3世代炉としてABWR, ESBWR, AP1000, USEPR, USAPWR, 計31基の計画が現状あげられている。

また、中国においても第2.5世代と呼ばれている100万kW(CPR型)及びAP1000, EPRも採用されている。中国の建設計画を図8に示す。

このような状況のもと、大型一体化鍛鋼品の需要は日増しに増加している。

5・2 製造能力拡大 大型一体化鍛鋼品の供給能力不足が、原子力発電所の建設計画に大きな影響を与えることから、鍛鋼品製造メーカーの多くが大型の設備投資を実施中あるいは計画している。

6. おわりに

生産能力アップと並行して、ものづくりの人材育成・技術の伝承を進め、材料メーカーの役割を果たすものづくりの基盤強化が急がれる。