

特別講演 放電プラズマ焼結法 (SPS/ECAS) の特異現象と生産への応用 (3-33)

株式会社 エヌジェーエス ○鍋田 正雄

【概要】

SPS (Spark Plasma Sintering) 法はパルス通電焼結(ECAS: Electric Current Activated/Assisted Sintering) 法とも呼ばれ、「SPS」を最も代表的な呼称とし日本で生まれ育った純国産技術である。大電流 ON-OFF DC パルス通電加圧焼結技術を用いた材料合成では、粉末からの単結晶合成、優先的に結晶配向が変わる現象、焼結体結晶組織が大きい構造に拘わらず引張強度・硬さ・破壊靱性などの機械的性質に優れるといった様々な特異現象が報告されている。SPS 法では、従来焼結法の熱、加圧力、時間の焼結駆動力因子に加え、瞬間・局所的高温場の発生と電磁場下の電界拡散効果の存在が有効と考えられている。一方、工業材料への実用化は「寸法効果」「形状効果」対策を施し均質大形化・複雑形状化・高機能性付与および生産性と製造コスト面を併慮した生産技術開発が確立されつつある。本講演ではこれらの現状について紹介する。

【SPS 技術の進歩】

SPS (パルス通電焼結) 法は金属、セラミックス、コンポジット、ポリマー系など粉体・固体を含む様々な材種の急速加熱、低温短時間での焼結・接合・表面改質・合成加工を可能とする電磁エネルギー支援環境低負荷型材料プロセスとして注目されてきた。およそ 50 年前に日本で発見された“第一世代型”の瞬間大電流による大気中焼結から今日の“第五世代型”の真空チャンバー中デジタルサーボ制御式焼結ハードウェアが主流の技術へと進化発展してきた。図 1 は新旧 SPS 装置の外観例である。SPS 技術の進歩・普及はハード・ソフトウェア(プロセス技術)・粉体材料の技術開発が三位一体となって実現される。SPS 法ではパルス電源と機械・制御系のハードシステムに依存するところが大きい。第三世代システム登場以降過去 28 年の間ソフトである材料加工データベースが蓄積され大電流 DC パルス応用の通電焼結法は大きく成長してきた。図 2 に SPS 技術発展過程の概略を示した。現在『第五世代の SPS 時代』に当り、迅速焼結、微細組織制御焼結、反応性焼結が特徴の新しい『モノづくり』技術とし学术界のみならず産業界へ幅広く広がった。今日パルス通電焼結装置メーカーは日本・欧米・中国・韓国など全世界に 16 社以上在り、卓上小型 SPS を含め 750~800 台が稼働し約 60% の 450 台以上が日本国内に設置と推定され近年革新的な応用事例が増えつつある。

【SPS 法の特異な現象と実用化】

SPS 焼結メカニズム解明のため様々なアプローチによるプロセス研究、粒子表面性状、界面での電気伝導度依存性、反応合成、パルス通電効果、クリープ変形依存性、ホットプレス法/HIP 法/常圧焼結法との比較、各種材料系の粉体材料研究などが産学官連携の中で行われてきた。海外 SPS 研究者の報告では“SPS はローカル・メルトが在りこの分野の精査研究が必要”、“ナノ粒子においては数ボルトの低電圧で放電が起きる”や『Electro-migration』、『Kinetic Window』、『SPS-Chemistry』など現象研究報告・提言が数多く見受けられるようになった。Flash-SPS 研究も近年活発化している。第三世代方式によりセラミックス系材料は高加圧力条件下で短時間緻密化に極めて有効であることが実証され、また生産実用化にグラファイト焼結型アッセンブリー構造設計や粉体処理・充填技術が極めて重要要素であることなど次々明らかとなった。代表的特異現象とし①SiC, CoSb, MgB₂系粉末から単結晶合成が可能、②TiO₂で SPS 時に優先的結晶配向性が発現、③原料粉末粒径 7nm の CeO₂, ZrO₂酸化物系セラミックスを 1GPa 加圧下で結晶粒径 12~16nmRD98%以上の高密度焼結、④相変態を利用し α-β 混在型 Si₃N₄ 無段階傾斜機能材料合成、⑤反応焼結によるバインダレス nano-WC の創製などが挙げられる。SPS による実用材料への応用分野は自動車、家電、エレクトロニクス、バイオ、金型・工具、航空宇宙分野その他多岐に亘り熱電発電用半導体材料、超放熱材料他、生産への利用が期待されている。

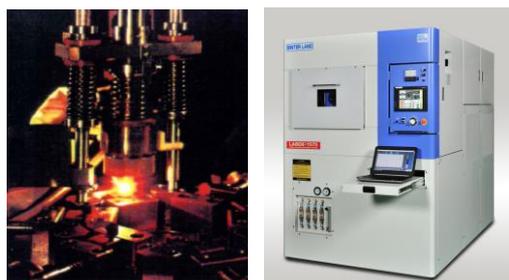


図 1 第一世代の SPS(左)と第五世代(右)の SPS 装置

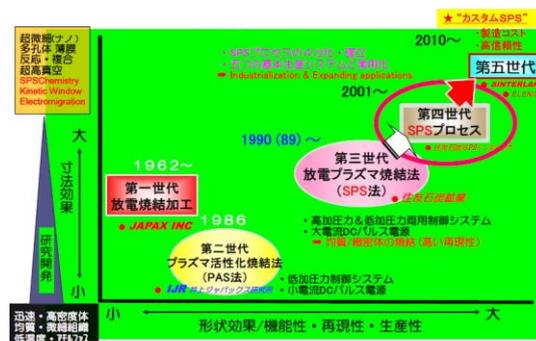


図 2 SPS 技術発展過程の概念図

ときた まさお