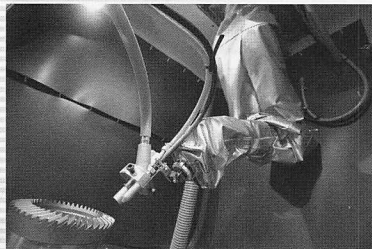


ショットピーニングを活用した 金型の表面改質技術



岡野 俊之

Toshiyuki OKANO

(株)オカノブラスト 専務取締役

1. はじめに

ショットピーニングは、球形粒子を圧縮空気や遠心力で金属表面に高速衝突させることで、高い圧縮残留応力と高硬度を持つ加工硬化層を付与し、耐摩耗性や疲労強度を向上させる表面改質処理法の一つとして、多岐にわたる分野で活用されている。この手法は近年では、0.6～1.2mmの鋼球粒子を使用する従来からのショットピーニングと、格段に細かい20～200 μ mの球形粒子を利用するWPC処理(以下、微粒子ピーニングと称す)と呼ばれる加工法に分類されている。

この微粒子ピーニングは、従来のショットピーニングと比較して、高精度かつ微細複雑形状を持つ様々な金型や機械要素部品、切削工具への採用が拡大している。これは、微粒子を使用することで、一層高速度・高密度な噴射で均一な加工と表面粗さを小さく制御できることをはじめ、表面近傍に最大となる圧縮残留応力が付与されること、ナノ結晶・微細結晶層を持つ加工硬化層が得られること、表面に油膜保持性能の高い微小ディンプルが形成されることなどから、耐久性・耐摩耗性・トライボロジー特性に優れた表面改質が実現できるためである。

そこで、本稿では微粒子ピーニングの主な効果や特徴と、特に採用事例が多いプレス・冷間鍛造・ダイカスト金型の寿命改善内容について紹介する。

2. 微粒子ピーニングの効果

はじめに、耐久性・耐摩耗性・トライボロジー特性向上を実現するための効果についてそれぞれ紹介する。

2-1 高い圧縮残留応力の付与

微粒子を基材に高速衝突させることで、表面は複雑に大きく塑性変形して伸びようとする。しかし、下地に拘束されて十分に伸びることができない。これによって、表層には高い圧縮残留応力が発生する。

図1に一般的な金型材SKH51およびSKD11の熱処理品と各熱処理品に微粒子ピーニングを施工した残留応力分布をそれぞれ示す。図1に示されたとおり、熱処理品はともに表層から内部にわたり-100MPa程度(符号マイナスは圧縮を示す)の残留応力分布であるのに対し、微粒子ピーニング品は、表層に-1300MPa以上の非常に高いピーク値を持つ残留応力分布が得られている。表面近傍に付与された高い圧縮残留応力は、クラックの発生と進展を抑制できるため、破断に至るまでの疲労寿命を大きく改善し、高度な信頼性・耐久性を実現できる。

2-2 結晶粒微細化と表面硬度上昇

微粒子ピーニングでは、100～200m/s

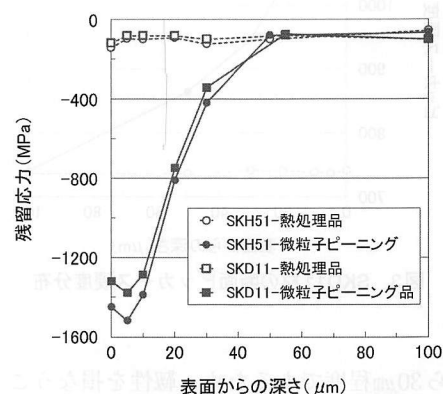


図1 SKH51とSKD11材の残留応力分布

以上の高速噴射が実現できるため、基材表層部には、急速加熱・急速冷却による熱処理と鍛錬が繰り返し行われる。これによって、基材表層部では転位の増殖をはじめ、残留オーステナイトのマルテンサイト化や金属組織の微細化で加工硬化が生じる。また、同時に疲労寿命を低下させる基材表面の異常層や点在する微細クラックも除去できる。

図2と図3に、金型材SKD11の熱処理品および熱処理品に微粒子ピーニングを施工した結晶解析(EBSD)観察像と、断面のビッカース硬度分布をそれぞれ示す。図2の微粒子ピーニングされたEBSD観察像では、表層にナノ結晶層および微細結晶層が生成されている。また、図3のビッカース硬度分布においては、微粒子ピーニング品の表面はHV1200と熱処理品HV740と比較して1.5倍以上の硬度が得られている。この加工硬化層は表面か

【著者問合先】

〒599-8247 堺市中区東山648

Tel.072-234-0999 Fax.072-236-5646

E-mail info@okano-blast.co.jp

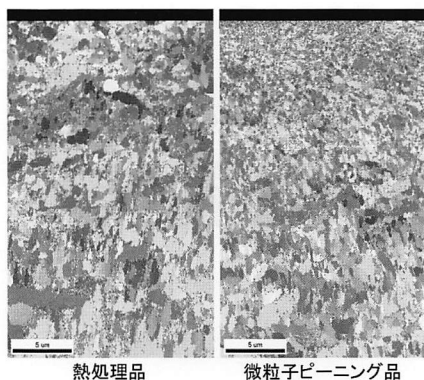


図2 SKD11材の表層断面EBSD観察像

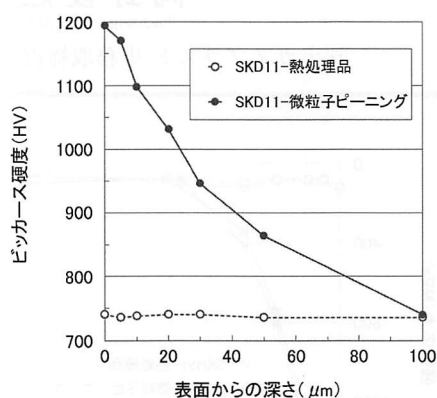


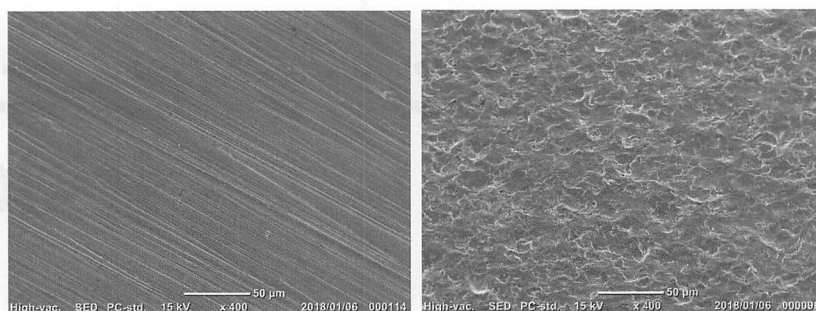
図3 SKD11材の断面ビッカース硬度分布

ら30μm程度であるため、靱性を損なうことなく優れた耐摩耗・耐疲労特性を持つ表面を得ることができる。

2-3 微小ディンプルの形成

一般に、研削や研磨を行った基材表面には砥石やペーパーによる条痕が直線状に形成されるのに対し、微粒子ピーニングでは、使用する研磨材の材質・粒度、基材硬さなどによって変動するが、およそ円弧径5〜30μm、深さ1〜5μmの微小ディンプルが基材表面に形成される。

図4に金型材SKD11の熱処理後に研磨した表面と同材料に微粒子ピーニングを施工した表面の走査電子顕微鏡 (SEM) 観察像をそれぞれ示す。金型や機械要素部品の摺動面においては、図4(a)の直線状の条痕と比較して、図4(b)に示す微小ディンプル形状は介在している潤滑剤や離型材の保持性能が非常に高いため、油膜切れによる焼付き抑制や潤滑性・離型性など、トライボロジー特性に優れた表面性状を得ることができる。



(a) 研磨品 (b) 微粒子ピーニング品

図4 SKD11材の表面SEM観察像

3. 微粒子ピーニングの特徴

微粒子ピーニングでは、使用する粒子の材質・粒径や噴射速度・噴射量などの加工条件を自在に選択できる。これによる利点として、①超硬や窒化・浸炭処理品の高硬度材からアルミやチタン材のような軟質金属まで、幅広い材質に適用できる②有意な寸法や形状変化がほとんどなく、高精度で微細・複雑形状部のある金型や機械要素部品、刃先のようなエッジ部を持つ切削工具にも施工できる③窒化・浸炭処理のような拡散浸透法をはじめ、各種コーティングや精密ラッピングとの複合処理で、一層高度な信頼性・耐久性を実現できる④コーティングやメッキとは異なり、皮膜を形成しないため、剥離によるトラブルがなく、長期間の安定した効果が得られる⑤マスキングが容易であるため、必要な箇所のみへの施工も簡単に対応できる——などが挙げられる。

4. 代表的な金型への採用事例

ここでは、特に寿命改善効果の高いプレスパンチ・冷間鍛造・ダイカスト金型への採用事例をそれぞれ紹介する。

4-1 プレスパンチ

プレスパンチの長寿命化には、刃先や微細形状部のチッピング抑制、耐摩耗性やトライボロジー特性の向上が求められる。

図5にパーツフォーマー用プレスパンチ (材質SKH51熱処理品HRC62) と、同材料に微粒子ピーニングを施工した寿命ショット数の比較結果を示す。熱処理品

は、およそ1万8000回で刃先折損やパンチ端面に摩耗が発生していたが、微粒子ピーニング品は4倍以上の7万5000回のショット数を実現している。

これは、熱処理品と比較して、微粒子ピーニング品は、プレスパンチ表面に非常に高い圧縮残留応力と均一なナノ結晶・微細結晶粒が生成されて刃先折損やチッピングを抑制できていること、加工硬化により表面硬度が上昇して耐摩耗性を向上させていること、さらには摺動部に微小ディンプルが形成され、潤滑性向上によるトライボロジー特性の改善や焼付きを抑制できていることが主要因として挙げられる。

4-2 冷間鍛造金型

冷間鍛造金型の長寿命化には、プレスパンチ同様にチッピングの抑制、疲労強度向上、耐摩耗性向上、摩擦抵抗の低減などが求められる。

図6にトランスミッション部品であるスプライン付中空シャフト用冷間鍛造金型 (材質SKD11熱処理品HRC60) と、同材料に微粒子ピーニングと精密ラッピング

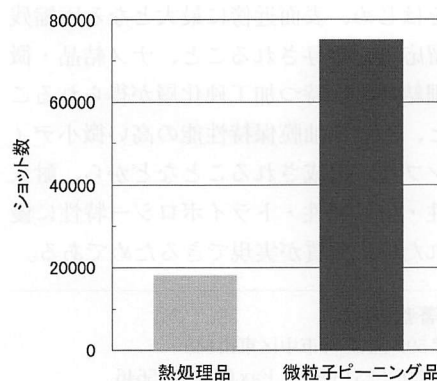


図5 プレスパンチの寿命ショット数

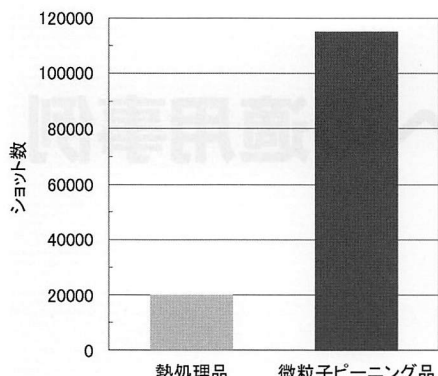


図6 冷間鍛造金型の寿命ショット数

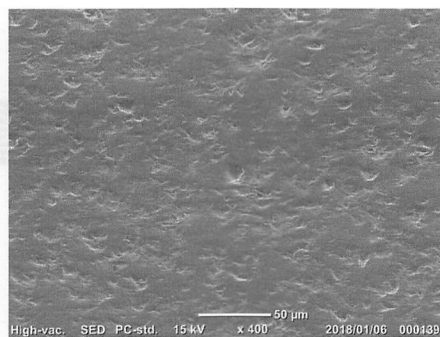


図7 複合処理品(微粒子ピーニングと精密ラッピング)の表面SEM観察像

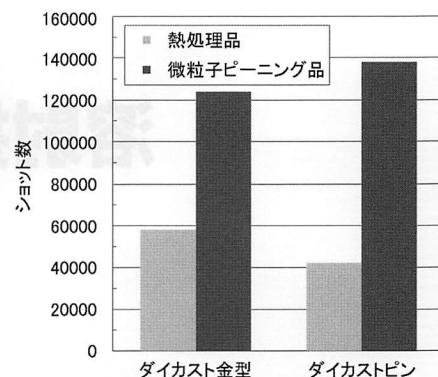


図8 ダイカスト金型とダイカストピンの寿命ショット数比較結果

グの複合処理を施工した寿命ショット数の比較結果を示す。熱処理品は、微細形状部の初期チッピングや平均2万回程度で割れや摺動部の焼付きが発生していたのに対し、微粒子ピーニングと精密ラッピングの複合処理品は、5倍以上の平均11万回のショット数を実現している。

図7に微粒子ピーニングと精密ラッピングの複合処理を施工した表面のSEM観察像を示す。精密ラッピング工程を追加することで、図4(b)と比較して、凸部が平坦化された滑らかな表面が得られている。そのため、一層苛酷な使用環境下でも、微粒子ピーニング効果と精密ラッピングによる摩擦抵抗低減や焼付き抑制との相乗効果で、寿命を大幅に改善できる。

4-3 ダイカスト金型

ダイカスト金型やダイカストピンの寿命改善には、熱影響で発生するヒートクラックの抑制や耐溶損性の改善が効果的である。また、生産性向上には、鑄造時の油流れ性向上による湯じわやはがれ、引け巣などの不良率低減が有効である。

図8に高融点アルミ合金用ダイカスト金型とダイカストピンの寿命ショット数の比較結果を重ねて示す。材質は、両者ともにSKD61表面硬度HV900の窒化処理品である。ダイカスト金型には微粒子ピーニングを、ダイカストピンには微粒子ピーニングとコーティング(硬質膜)の複合処理を施工している。ダイカスト金型において、熱処理品は5万8000回程度でヒートクラックが進展し欠けや割れが発生していたのに対し、微粒子ピーニン

グ品は2倍以上の約12万回の寿命を実現している。

これは、微粒子ピーニングによって金型表層部に高い圧縮残留応力を有する均一なナノ結晶・微細結晶層が生成され、ヒートクラック発生に至るまでのショット数延長とクラック進展を大きく抑制できているためである。また、表面に形成された微小ディンプルは、湯流れ・湯回り性や離型剤の保持性能を向上させることができるため、不良率低減による生産性向上も併せて実現できる。

複合処理を施工したダイカストピンでは、熱処理品と比較して3倍以上の寿命を実現している。これは、コーティングによる耐溶損性の改善効果が主な要因である。微粒子ピーニングは、高い圧縮残留応力と高硬度を持つ改質層が得られるため、コーティング皮膜の密着性や追従性の向上で、長期間にわたり安定した効果を実現できる。

5. そのほかの金型への採用事例

前章では、プレスパンチや冷間鍛造・ダイカスト金型の採用事例について紹介したが、そのほか、抜き・曲げ・絞りなどで使用される金型をはじめ、熱間鍛造金型やプラスチック・ゴム金型にも採用事例がある。なかでも、プラスチック金型への採用事例は多数あり、前節で紹介した長寿命化を図る事例とは異なり、離型性改善が主な要求である。

紙面の都合上、詳細な解説は割愛するが、離型性改善には、金属―樹脂間の付着エネルギー低減と貼付き抑制の両立が

必須である。微粒子ピーニングでは、樹脂材の特性に応じた表面性状(微細凹凸のピッチ径や高さなど)を制御することで離型抵抗を低減し、様々な課題解決のために採用されている。

6. おわりに

金型における表面改質技術は、現在も様々な新しい処理方法が開発されている。特にコーティングや熱処理には数多くの種類があり、要求特性に合わせた選定によって、耐久性・耐摩耗性・トライボロジー特性向上などの高機能化に貢献している。

本稿で紹介した微粒子ピーニングにおいても、単独あるいはコーティングや熱処理を有効に活かすための表面改質技術として、一層幅広い分野で利用されていくものと予想される。そのためにも、要求される特性をはじめ、基材の材質や硬度、加工履歴や次工程などを正確に把握し、適切な残留応力分布や硬度分布、表面性状を得るための加工条件を精細に選定することが重要である。

参考文献

- 不二機販技術資料：精密ショットピーニング。
- 加賀谷忠治：精密工学会誌72(9)、pp.1067-1070(2006)。
- 江上 登：精密工学会誌72(9)、pp.1(2006)。
- 月刊トライボロジー、No.344、pp.40-41(2016)。