

Newsletter

2020 年 4 月 7 日

LPW テクノロジージャパン(株)

マルエージング鋼：加工性に及ぼす合金化学の影響

【金属粉末の仕様はなぜ重要なのですか？】

金属粉末を使用して必要な特性を持つ部品を製造するためには、適切な材料仕様を定義し、製造や試験のばらつきに対応するために十分な許容差を含めることが重要です。しかし、ばらつきがプロセスやアプリケーションの性能に影響を与えないように、十分に厳密な制限値を設定することも必要です。制限値の設定は、部品製造時の材料加工性、または部品自体の最終的な機械的特性に影響を与える可能性があります。

金属粉末は、その化学的性質および物理的性質が、仕様から外れるだけでなく、仕様内で変化することもあります。個々の元素の濃度は、不安定な製造ルートや原材料により変化しますし、複数の粉末サプライヤーを評価してみると、粉末バッチ間で異なる場合があります。サイズ、形状、流動性、密度などの違いは、加工や環境条件による可能性があります。

部品の機械的特性に化学関連の問題が発生した場合、最終部品の性能を担う要素を適切に制御するには金属粉末の仕様が緩すぎる事が考えられ、制限値を厳しくすることで問題が解決する可能性があります。しかしながら、そのために粉末仕様の達成が困難になり、さらに期待した結果も得られない可能性があります。

【CT NiMark® Alloy 300（マルエージング鋼）の背景 DIN 1.2709】

Carpenter Additive の CT NiMark Alloy 300 マルエージング鋼は、優れた機械的性質、特に高い引張強さと硬度を持つ、低炭素で時効硬化性のマルテンサイト鋼です。この材料は熱処理が容易で、時効硬化後に優れた機械的性質を達成します。AM の適性が証明されているため射出成形やダイキャスト用の工具インサートや機能部品などの金型用途に適しています。

【問題】

マルエージング鋼粉末は問題なく数年間供給されてきました。その後、2つの連続した材料のバッチで、積層造形中に部品内でマイクロクラックが発生しました（図1）。粉末は既存の仕様の範囲内に収まっており、粉末の管理が不十分な事が示されました。マルエージング鋼は主に研磨された表面仕上げを必要とする工具用途に主に使用されているので、仕上げ後に表面に現れるクラックは許容できません。他の用途では、バルク材料中にマイクロクラックが存在することにより、引張特性が損なわれます。

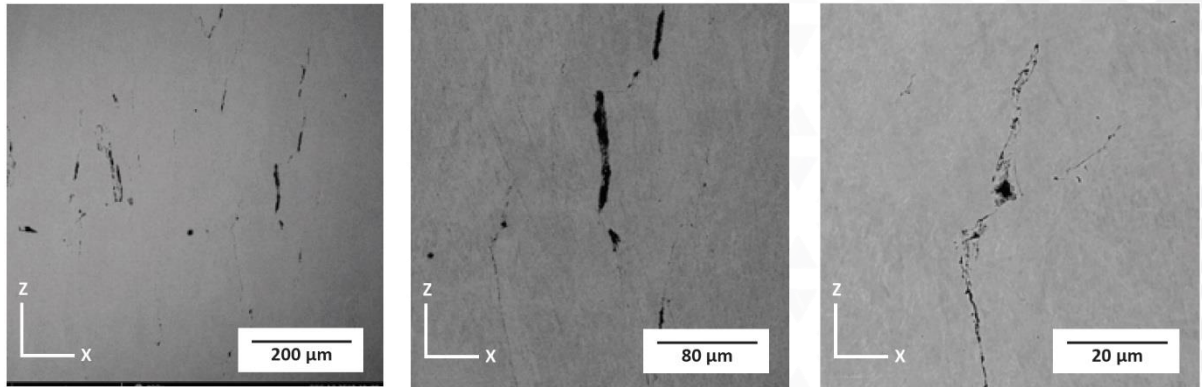


図 1.AM 部品の粒界に観察されたマイクロクラックの SEM 画像。クラックは垂直/構築方向に並んでいます

【解決】

Carpenter Additive のアプリケーションチームは、粒界における垂直方向のマイクロクラックを観察しました。彼らは積層造形用金属粉末の豊富な経験により、これがプロセス起因の欠陥ではなく材料の問題を示すものであると認識し、彼らの調査は合金化学に焦点を当てました。ケイ素 (Si)、マンガン (Mn) およびホウ素 (B) の残留元素は、問題のあるバッチにおいてばらつきを示しましたが、ホウ素 (B) は異常値であることが判明しました。まだ仕様の範囲内にありながら、それは以前の問題のないバッチよりもかなり高くなっていました。

粉末が要求される成果を確実にもたらすように、3つの残留元素の限界濃度を十分に厳しくしました。これにより、その後のマルエージング鋼粉末バッチにおけるマイクロクラックの再発はありませんでした。

【調査】

過去の 23 個の粉末バッチが、その合金組成の偏差について精査されました (図 2)。バッチ 18 と 19 は、AM 部品にクラックが生じたものです。Mn と Si は、仕様内で大きく変動する残留元素 (合金に意図的に添加されていないが、原料中に存在する元素、または上限値までしか管理されていない元素) として最初に指摘されました。これらの元素が単独では欠陥の原因ではないことを示唆するバッチ例がありました。バッチ 19 (クラックが発生する) は、バッチ 18 に比べて Mn が相対的に低く、バッチ 20 (正常に造形された) は Si が高くなっています。Si+Mn の組み合わせの影響は、わずかではありますが、バッチ 18 と 19 を異常値としています。B (ホウ素) は、他のすべての成功したバッチと比較して、4~5 倍も高く、際立った元素でした。これらの結果を受けて、合金仕様改訂が行われ、これらの重要な元素に、より厳しい範囲を課すことで、管理が再確立され、将来的な偏差が最小限に抑えられるようになりました。図 3 は、合金仕様の改訂前と改訂後の Mn、Si、B の相対的なレベルを示しており、アトマイズ前に最適な原料を選択することで達成された化学組成を示しています。

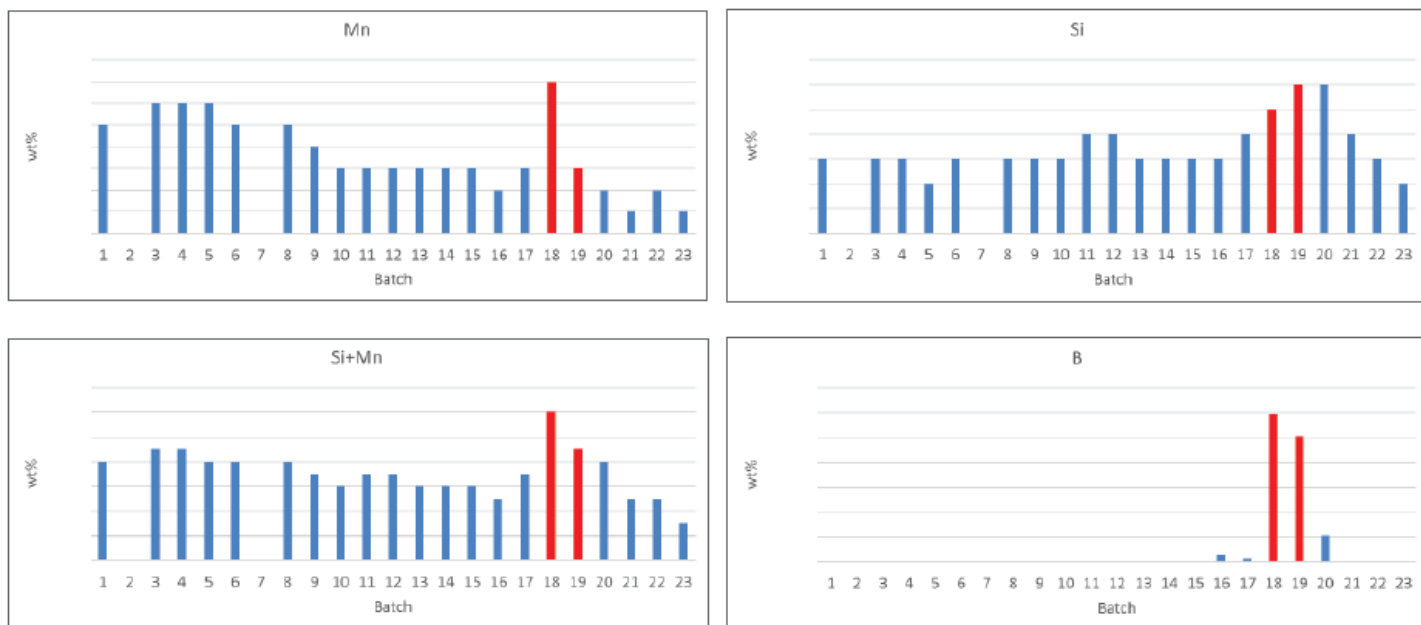


図 2. 23 個の粉末バッチにおける主要残留元素の相対レベル。

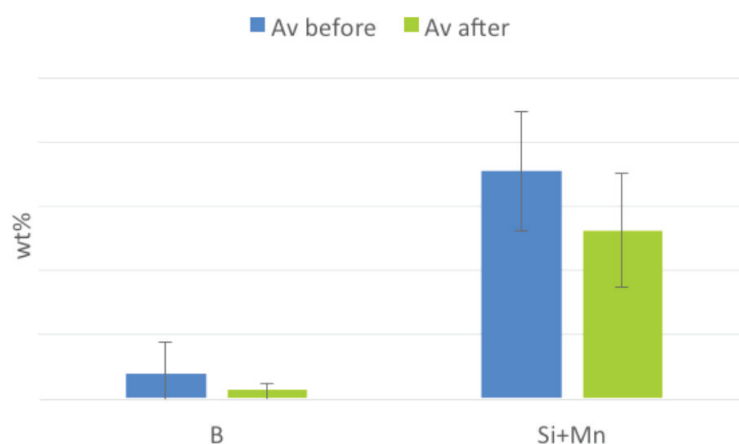


図 3. 不合格となったバッチ（before）と割れが観察されなかった後のバッチ（after）におけるホウ素とケイ素+マンガンの相対濃度。

【進行中の研究】

粉末が過剰に設計されて仕様を達成することが困難にならないように、合金シミュレーションと実験に基づいてさらなる調査が行われています。これにより、クラックの原因をより詳しく知ることができ、さらなるケーススタディの基礎となります。