Fallstudie: Präzisionsvergoldung einer Venturi-Kehle für kryogene Raketentriebwerke

Wenn Standardbeschichtung an geometrischen Grenzen scheitert

Kunde

Hersteller von Komponenten für kryogene Raketentriebwerke.

Die Herausforderung

In modernen Raketentriebwerken übernehmen Venturidüsen eine sicherheitskritische Funktion. Sie regulieren den Treibstoffffluss und sorgen für eine definierte Zufuhr in die Brennkammer. Besonders kritisch ist dabei die sogenannte Venturi-Kehle, die engste Stelle der Düse. Hier treten die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten und die niedrigsten Drücke auf.

Durch den Einsatz kryogener Treibstoffe entstehen niedrige Temperaturen. In Verbindung mit Umgebungsfeuchtigkeit kann dies zur Eisbildung im Bereich der Venturi-Kehle führen. Vereisungen können den Treibstoffffluss beeinträchtigen und im schlimmsten Fall die Betriebssicherheit des Systems gefährden.

Um dieses Risiko zu minimieren, sollte der kritische Innenbereich der Venturi-Kehle mit Gold beschichtet werden. Die eigentliche Herausforderung war jedoch nicht das Edelmetall selbst, sondern die außergewöhnlich komplexe Geometrie des Bauteils.

Das Problem

Die zu beschichtende Fläche befand sich tief im Inneren einer stark verengten Venturi-Geometrie.

Bei solchen Bauteilen stoßen konventionelle galvanische Prozesse häufig an ihre Grenzen:

- Abschattungseffekte durch die Geometrie
- Ungleichmäßige Schichtverteilung
- Unzureichende Metallabscheidung im Innenbereich
- Fehlende Reproduzierbarkeit der Beschichtung
- Risiko von Funktionsbeeinträchtigungen im kritischen Strömungsbereich

Für den Kunden war daher nicht die Vergoldung das eigentliche Problem.

Die entscheidende Frage lautete:

Wie lässt sich eine gleichmäßige und reproduzierbare Goldschicht exakt dort erzeugen, wo die Funktion des Bauteils darüber entscheidet, ob das Gesamtsystem zuverlässig arbeitet?

Die SURPRO-Lösung

SURPRO entwickelte ein speziell angepasstes Beschichtungskonzept für die komplexe Innengeometrie.

Hierfür wurden:

- die stromführenden Bereiche des Galvanikgestells neu ausgelegt,
- die Stromverteilung gezielt optimiert,
- die Elektrolytführung speziell auf die Venturi-Geometrie abgestimmt

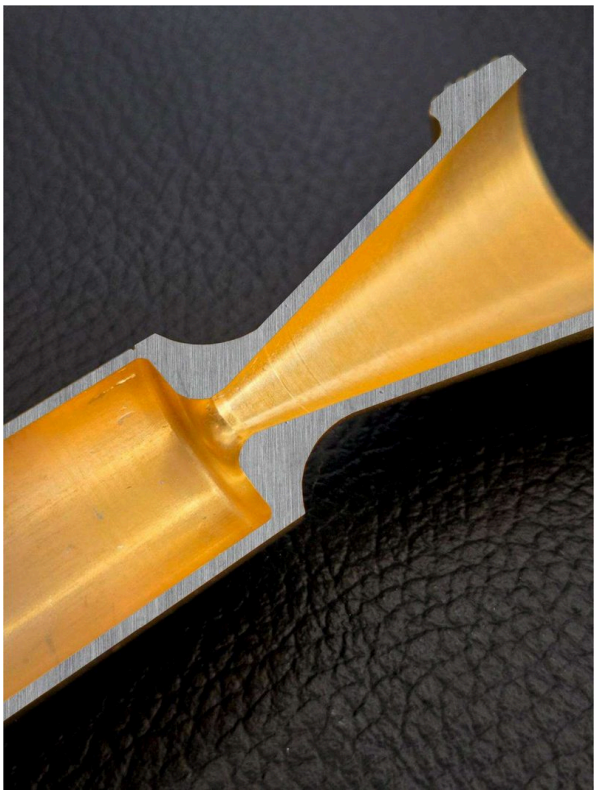
Dadurch konnte die Goldbeschichtung gezielt bis in den hochkritischen Bereich der Venturi-Kehle eingebracht werden.

Die Lösung ermöglichte eine deutlich verbesserte Einstreuung der Beschichtung in Bereiche, die mit Standardverfahren nur schwer oder gar nicht erreichbar sind.

Das Ergebnis

Zur Verifikation wurde ein Referenzbauteil aufgeschnitten und analysiert.

Die Untersuchung zeigte eine gleichmäßige Goldabscheidung bis in den relevanten Bereich der Venturi-Kehle. Damit konnte nachgewiesen werden, dass die entwickelte Prozessführung die geforderte Beschichtung auch in der geometrisch anspruchsvollsten Zone des Bauteils ermöglicht.



Kundennutzen

Durch die entwickelte Beschichtungslösung erhielt der Kunde:

- ✅ Vergoldung komplexer Innengeometrien
- ✅ Reproduzierbare Beschichtungsqualität
- ✅ Sichere Erreichbarkeit kritischer Funktionsbereiche
- ✅ Einen validierten Prozess für anspruchsvolle Luft- und Raumfahrtanwendungen

- [x] Einen Entwicklungspartner für Bauteile, die mit Standardverfahren nicht zuverlässig beschichtet werden können

---

Warum dieses Projekt besonders ist

Viele Beschichtungsunternehmen können Gold auf Oberflächen aufbringen.

Wesentlich schwieriger ist es, eine kontrollierte und gleichmäßige Edelmetallabscheidung innerhalb hochkomplexer Strömungsgeometrien zu realisieren.

Genau hier lag die Kernkompetenz von SURPRO.

Die Herausforderung bestand nicht im Werkstoff Gold, sondern in der Entwicklung eines galvanischen Prozesses, der die Beschichtung eines sicherheitskritischen Innenbereichs überhaupt erst ermöglicht.

Fazit

SURPRO realisierte die präzise Vergoldung einer geometrisch anspruchsvollen Venturi-Kehle für ein kryogenes Raketentriebwerk. Durch die Kombination aus spezieller Gestelltechnik, optimierter Stromführung und gezielter Elektrolytführung konnte eine gleichmäßige Beschichtung des kritischen Innenbereichs nachgewiesen werden. Damit wurde eine Lösung geschaffen, wo herkömmliche Beschichtungsverfahren geometrisch an ihre Grenzen stoßen.

Wenn komplexe Geometrien eine präzise Beschichtung verhindern, entwickelt SURPRO den Prozess, der sie möglich macht.