

適合 AHSS 的工具鋼解決方案

聚焦 VANADIS 4 EXTRA SUPERCLEAN,
VANADIS 8 SUPERCLEAN, VANCRON SUPERCLEAN



Anders Sahlén – 產品經理, Uddeholm

摘要

在現代製造業中，尤其是在汽車行業，先進高強度鋼（AHSS）的應用日益廣泛，這對模具材料提出了極為嚴苛的要求。高強度的成形力、加速的磨損以及崩刃和黏著的風險，都促使行業尋求先進的解決方案。本文深入探討了 Vanadis 4 Extra SuperClean、Vanadis 8 SuperClean、Vancron SuperClean 和 Caldie 這四種高性能冷作模具鋼的性能表現，它們均為專用於先進高強度鋼冷作用途而開發的優質材料。

通過採用粉末冶金（PM）和先進的合金化技術，例如電渣重熔（ESR），這些鋼材提供了卓越的抗磨耗磨損、抗黏著磨損（拉毛）和抗疲勞裂紋的性能，同時保持了足夠的延展性和尺寸穩定性。Vanadis 4 Extra SuperClean 平衡了韌性和耐磨性，Vanadis 8 SuperClean 在極端磨損條件下表現卓越，Vancron SuperClean 集成了抗拉毛的特性，而 Caldie 為中度至重度的 AHSS 應用提供了出色的抗崩裂性能。所有這些鋼材都可通過在表面添加鍍膜來進一步延長模具壽命。

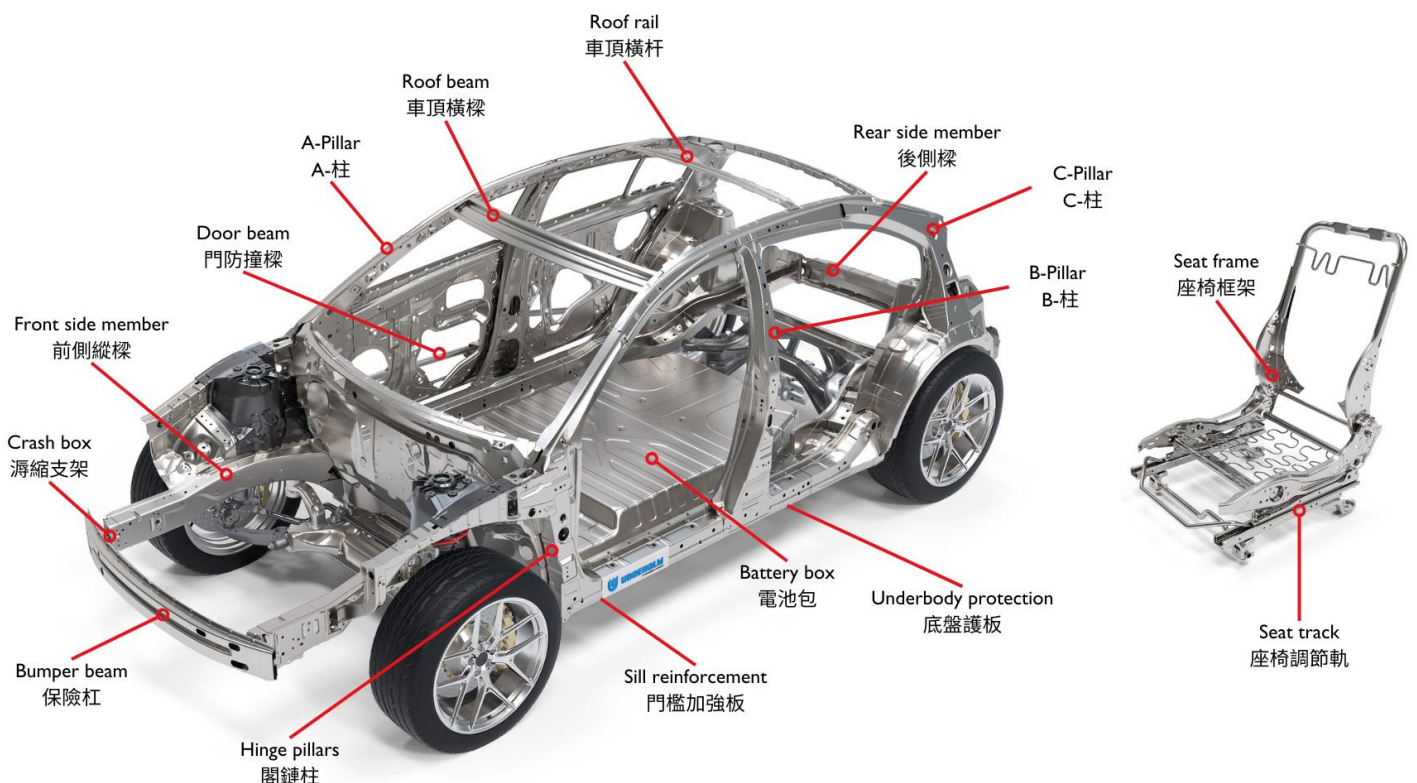
通過詳細的分析，包括機械性能、失效機制和實際案例，本文重點介紹了如何為嚴苛的 AHSS 成型和沖裁操作選擇合適的模具鋼，從而延長模具壽命，減少停機時間，並優化生產效率。

先進高強度鋼

確保生產的可持續性、效率與安全是當今全球製造業的核心目標，尤其是在汽車行業。先進的高強度鋼（AHSS）在實現這些目標中發揮著關鍵作用。它在保持高強度和碰撞安全性的同時，實現了無與倫比的減重效果。AHSS 使汽車製造商能夠生產出更輕、更安全、更節能的汽車，從而減少尾氣排放，降低整體環境影響。



AHSS 的應用正迅速擴展，這一趨勢受到日益嚴格的排放法規和對成本效益型輕量化設計需求的推動。AHSS 已成為生產汽車結構件的關鍵材料，例如 B 柱、防撞樑以及電動汽車（EV）和混合動力車型的電池包。在全球範圍內，永續發展目標和政府政策正在加速重塑汽車行業格局。



然而，AHSS 的應用並非沒有挑戰。其高強度和複雜的微觀結構使其在加工過程中更具挑戰性，尤其是在成型、沖裁和沖孔等冷作應用中。這些挑戰主要體現在以下幾個方面：

磨料磨損： AHSS 的高硬度會顯著加劇工具的磨損。在加工過程中，材料的硬度如同砂紙一般，快速刮擦並磨削工具表面，導致工具迅速磨損、變鈍，並在成型操作中失去有效性。

黏著磨損（拉毛磨損）： 在加工鍍膜或不銹鋼材質的 AHSS 時，工具與材料之間的劇烈摩擦可能導致材料黏附在工具表面，形成黏著現象。這不僅會在工具表面產生粗糙、撕裂的區域，還會損壞工件表面，降低加工質量。

崩裂與開裂： 加工 AHSS 時所需的高強度機械負荷可能導致工具邊緣出現崩裂（小碎片脫落）和開裂（在反覆應力作用下形成並擴展的微裂紋）。這種情況通常發生在沖裁或沖壓操作中，會顯著縮短工具壽命並降低加工精度。

塑性變形： 在 AHSS 成型和沖裁過程中，高接觸壓力可能導致標準工具鋼發生永久性彎曲或凹陷。這不僅會破壞工具的幾何形狀和精度，還會導致零件品質下降，增加維護成本。

AHSS 的強度決定了工具是否能夠在加工過程中保持其形狀，而其獨特的微觀結構則決定了材料與工具在生產過程中的相互作用方式。AHSS 中的每種相態——無論是鐵素體、馬氏體、貝氏體還是奧氏體——都具有不同的特性，這些特性通過不同的磨損機制、黏著行為或變形方式對工具性能產生影響。

典型的 AHSS 薄板材及其結構

AHSS 類型	結構組成	典型強度 (MPa)
雙相鋼 (DP)	鐵素體 + 馬氏體	500–1000
復相鋼 (CP)	鐵素體 + 貝氏體 + 馬氏體	780–1000
馬氏體鋼 (MS)	馬氏體	1100–1400
鐵素體-貝氏體鋼 (FB)	鐵素體 + 貝氏體	600–800
TRIP 鋼	鐵素體 + 貝氏體 + 奧氏體	500–700
TWIP 鋼	奧氏體 + 孿晶	900–1200

表 1. AHSS 薄板材類型及其微觀結構

鐵素體：易引發黏附現象，進而導致表面拉毛，最終引發黏著磨損。

馬氏體：主要導致磨料磨損和邊緣崩裂。

貝氏體：兼具磨料磨損和黏著磨損的特性，且表現出一定的黏性。

奧氏體（尤其是 TRIP 和 TWIP 鋼中的奧氏體）：由於其高加工硬化率，易引發塑性變形和局部應力損傷。

了解這些微觀結構與磨損現象之間的關係，有助於製造商選擇合適的解決方案。這通常需要綜合考慮硬度、耐磨性、韌性以及尺寸穩定性等性能的合理組合。

以下是 Vanadis 4 Extra 沖裁厚度為 1.5 毫米的典型 AHSS 薄板材後的示例。

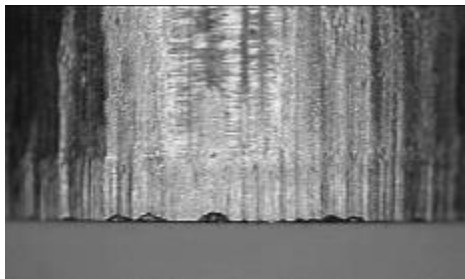


圖 1. AISI D2, 50,000 個零件

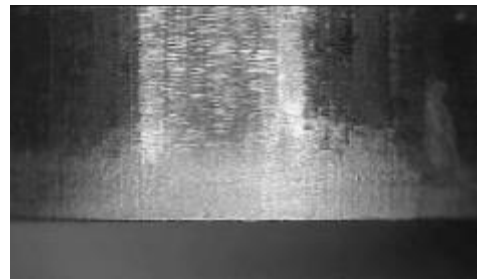


圖 2. Vanadis 4 Extra SuperClean, 50,000 個零件

傳統模具鋼難以滿足 AHSS 日益嚴苛的要求，常常導致模具失效、停機以及增加維護成本，代價高昂。

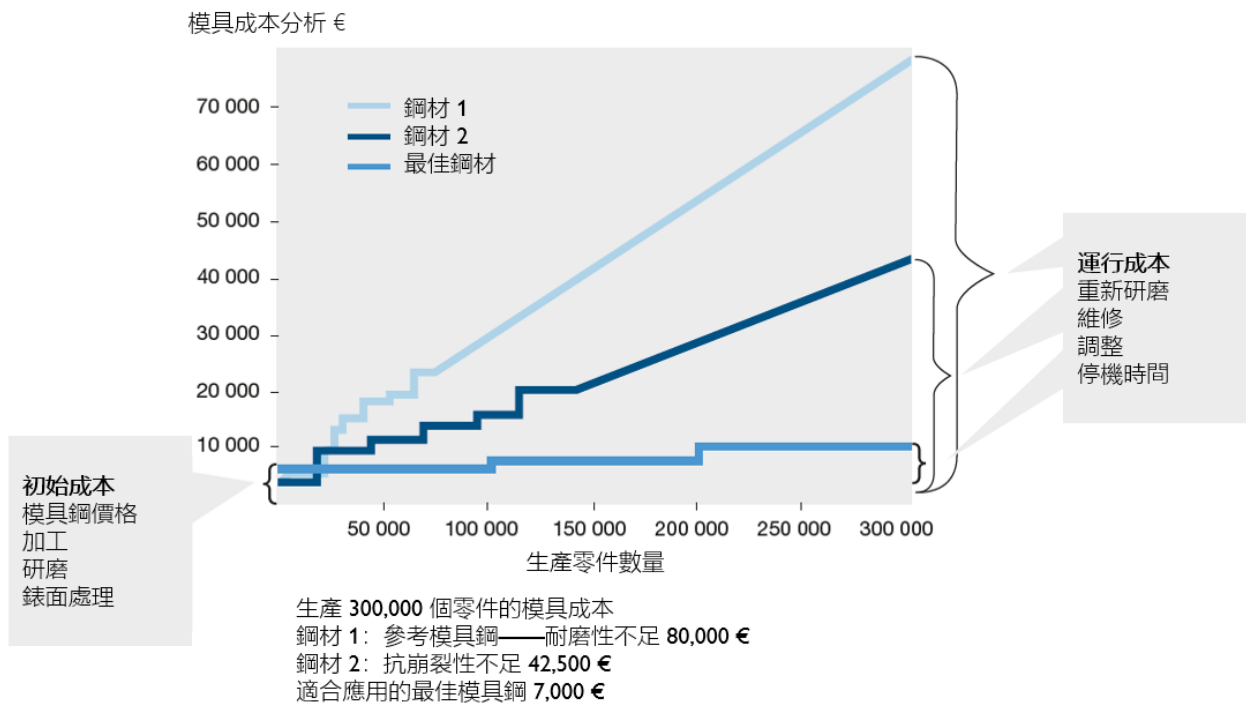


圖 3: 模具總成本考慮因素（線條中的階梯表示翻新成本）

一勝百的 AHSS 解決方案

為應對這些挑戰，一勝百推出了專為 AHSS 設計的高性能解決方案。目前表現卓越的五種一勝百模具鋼分別是 Caldie、Unimax、Vanadis 4 Extra、Vanadis 8 SuperClean 和 Vancron SuperClean。這些鋼種在 AHSS 成型和切割操作中展現了獨特的性能、優勢以及理想的應用場景。

粉末冶金 (PM) 模具鋼

粉末冶金 (PM) 工藝代表了模具鋼製造的巔峰。與傳統冶金工藝不同，PM 工藝生產的碳化物細小且分佈均勻，從而賦予鋼材卓越的耐磨性、高韌性以及均勻的鋼組織結構。這使得 PM 鋼成為對性能要求極高的應用場景（如 AHSS 沖裁和成型）的理想選擇。

Vanadis 4 Extra SuperClean

Vanadis 4 Extra 是一種優合金，其成分包含鉻、鉬和釩，可形成碳化物均勻分佈的微觀結構。這種精心控制的粉末冶金 (PM) 工藝生產的材料具有以下特性：

高耐磨性與抗黏著磨損性：細小分散的碳化物確保了在 AHSS 沖裁和成型操作中強大的抗磨損性能。

卓越的延展性和抗崩裂性：脆性斷裂可能導致災難性後果，而 Vanadis 4 Extra 具有較高的延展性，顯著降低了崩裂或開裂的風險，尤其是在高循環載荷條件下。



圖 4. 四點彎曲試驗與 PM 23 型 (60-62 HRC) 的對比

尺寸穩定性：熱處理過程中變形極小，使用過程中老化效應極低，確保了工具性能的精準性和一致性，這對於高精度應用至關重要。

可製造性與實操性

從生產角度來看，Vanadis 4 Extra 在可加工性和可磨性方面表現出色，這是許多高合金模具鋼所不具備的特性。這有助於提高工具生產與精加工的效率，使製造商能夠在不增加過多加工成本的情況下保持嚴格的公差控制。Vanadis 4 Extra SuperClean 特別適合 AHSS 對模具材料要求極為嚴苛的應用場景，例如：

- 承受循環載荷的模具：需要在耐磨性和延展性之間取得平衡，以防止過早失效。
- 在成型過程中承受高機械應力的模具：必須同時具備抗塑性變形和抗疲勞開裂的能力。
- 在苛刻條件下保持性能：傳統模具鋼通常無法提供足夠的耐用性，而 Vanadis 4 Extra SuperClean 能夠在這種環境中保持穩定的性能，因此被視為理想的“全能型”材料。

Vanadis 8 SuperClean

Vanadis 8 SuperClean 含有高比例的鈮，其優化的成分組合和細小均勻的碳化物分佈，使其成為一種高性能的模具鋼。這種微觀結構賦予其卓越的耐磨性，特別適合於長周期生產以及對耐磨性要求極高的應用場景。

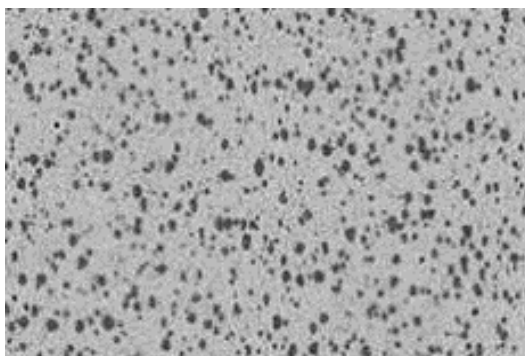


圖 5. Vanadis 8 SuperClean, 15% MC 碳化物

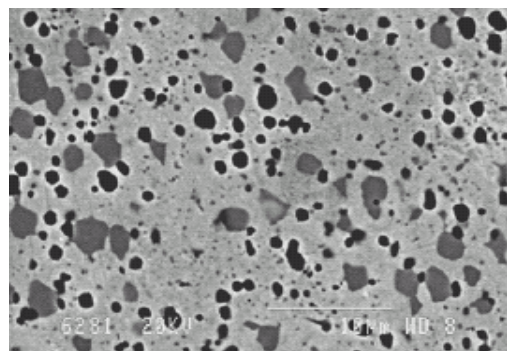


圖 6. 含有 13% (9% MC + 3% M7C) 混合尺寸碳化物的 PM 鋼種

碳化物結構如何延長模具壽命

Vanadis 8 SuperClean 中高比例的細小釩碳化物提供了極高的抗磨料磨損性能，這對於加工 AHSS 等硬質磨料材料至關重要。這些細小碳化物如同保護屏障，能夠抵抗硬質顆粒在模具表面滑動時產生的微切削現象。

Vanadis 8 SuperClean 製成的模具能夠在更長時間內保持切削刃的鋒利度和尺寸精度。與高速鋼中粗大且分佈不均的碳化物不同，Vanadis 8 SuperClean 中均勻分佈的細小碳化物顯著降低了應力集中引發的崩裂和裂紋風險。

同時，其均勻且超潔淨的結構顯著提升了鋼材的延展性，使其能夠在高負載條件下保持穩定，降低崩裂或開裂的風險。細小碳化物的高硬度進一步增強了模具邊緣的抗磨損性能，從而延長模具在重載荷條件下的使用壽命。

這種組合特性使 Vanadis 8 SuperClean 成為生產週期時間較長的理想模具鋼，尤其適合 AHSS 沖裁和沖孔等高磨損、高應力的應用場景。

借助釩碳化物的高硬度和穩定性，Vanadis 8 SuperClean 不僅延長了模具壽命，還提高了整體製造效率，減少了模具維護和更換的頻率。

Vancron SuperClean

Vancron SuperClean 是一種氮合金化粉末冶金（PM）模具鋼。憑借其獨特的氮合金成分以及粉末冶金（PM）技術，Vancron SuperClean 在高性能模具鋼中脫穎而出。其先進的微觀結構實現了耐磨性和抗拉毛性能的平衡，使 Vancron SuperClean 特別適用於成型和沖裁應用，尤其是在黏著磨損（如拉毛）為主要挑戰的場景中。



圖 7. 沖壓沖頭出現嚴重的拉毛磨損

富氮碳氮化物——固有的抗拉毛性能

氮合金化工藝形成了富氮碳氮化物，從而在鋼基體內提供了天然的低摩擦表面。與容易磨損或剝落的外部鍍層不同，這種特性是材料本身固有的。這種光滑、低摩擦的表面能夠顯著減少金屬間的黏附，降低在高接觸壓力和滑動條件下的拉毛風險，尤其適用於加工塗層 AHSS（例如鍍鋅或鍍鋁鋼）。

除了抗拉毛性能外，細小且均勻分佈的鈮碳氮化物還提供了出色的抗磨耗磨損性能。這確保了模具在長時間生產中保持邊緣完整性和性能，即使在高磨蝕性環境中也是如此。

Vancron SuperClean 特別適合對長期穩定性能有嚴格要求的應用，包括：

- 帶鍍層的 AHSS 成型模具，例如鍍鋅 (GI/GA) 或鍍鋁薄板材。
- 要求低摩擦和高邊緣耐磨性的沖裁和沖孔模具。
- 高滑動壓力和表面接觸的複雜沖壓與成型操作。

通過省略額外鍍層的需求，Vancron SuperClean 簡化了模具維護流程，同時提供了穩定的性能。其自潤滑特性有效防止工件材料黏附在模具上，顯著降低了早期故障和模具更換的風險。

結論

先進的高強度鋼 (AHSS) 在現代製造業中的廣泛應用，對易受磨損、拉毛和崩裂影響的模具材料提出了嚴峻挑戰。一勝百的高性能模具鋼——Vanadis 4 Extra SuperClean、Vanadis 8 SuperClean 和 Vancron SuperClean——專為解決這些問題而開發，能夠顯著延長模具在嚴苛冷作加工條件下的使用壽命。

Vanadis 4 Extra SuperClean 在耐磨性和韌性之間實現了卓越的平衡，兼具耐用性和抗崩裂性能，是多種應用場景的理想選擇。

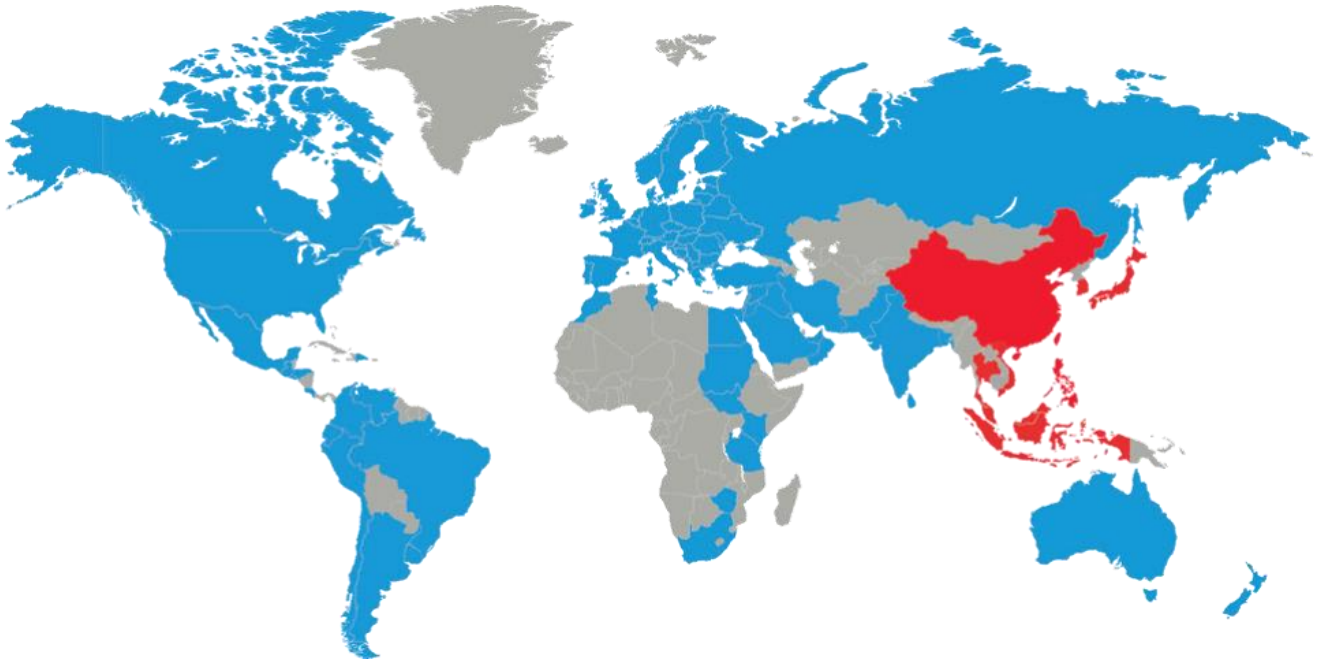
Vanadis 8 SuperClean 在抗磨耗磨損方面表現出色，能夠保持模具邊緣的完整性，延長使用壽命，特別適用於週期時間較長的生產。

Vancron SuperClean 富含氮的碳氮化物使其具備固有的抗拉毛性能，減少了對鍍層的需求，特別適用於帶鍍層的 AHSS 成型加工。

何時使用 Vanadis 4 Extra SuperClean, Vanadis 8 SuperClean, 和 Vancron SuperClean			
模具鋼	主要優勢	應用範圍	適用場景
Vanadis 4 Extra SuperClean	韌性與耐磨性平衡	AHSS 的沖裁、成型與沖壓模具	需要兼顧韌性和耐磨性，防止工具過早失效的應用場景
Vanadis 8 SuperClean	出色的抗磨耗磨損性	AHSS 的大批量沖裁與沖孔模具	高強度磨損環境，需要保持工具邊緣完整性的場景
Vancron SuperClean	出色的抗拉毛性能，低摩擦	帶鍍層 AHSS (如鍍鋅) 的成型模具	黏著磨損 (拉毛) 為主要挑戰的應用，且鍍層不適用的場景

錶 2. 適應不同環境的一勝百解決方案

通過選擇合適的模具鋼來應對不同的挑戰（無論是拉毛、磨耗磨損還是崩裂），製造商能夠在加工 AHSS 材料時顯著提高生產效率、減少停機時間，並獲得穩定一致的高品質產品。



選擇合適的鋼材至關重要。一勝百的工程師和冶金專家隨時準備協助您選擇最適合的鋼種和合適的處理工藝。一勝百不僅提供高品質的鋼材產品，還提供先進的機械加工、熱處理、表面處理服務以及積層製造（3D 列印），全方位提升您的模具性能，並在最短的交貨期內滿足您的需求。作為一站式解決方案供應商，我們以整體化的服務理念，為您帶來超越古早模具鋼供應商的附加價值。

在亞太地區，一勝百是 Uddeholm 的分銷網路核心。Uddeholm 是一家擁有超過 350 年模具鋼行業經驗的瑞典模具鋼製造商。兩者均為 voestalpine AG 的重要組成部分，這是一家總部位於奧地利的知名企業，自 1995 年起在維也納證券交易所上市。我們攜手成為鋼鐵和技術領域的關鍵參與者，提供多樣化的產品和服務。

如需了解更多訊息，請訪問我們的官網：

www.assab.com

