

NACHI  
**TECHNICAL  
REPORT**  
Materials

Vol. **14**B4  
October/2007

マテリアル事業

精密成形  
プレシジョン

■ 新商品・適用事例紹介

FM ALLOY  
「精密型用鋼 DURO」

FM ALLOY  
"DURO for Precision Die"

〈キーワード〉 型用鋼・高速度工具鋼・ファインブランクング・  
精密金型

マテリアル事業部  
吉田 直純 Naozumi Yoshida  
島谷 祐司 Yuji Shimatani  
吉本 隆志 Takashi Yoshimoto

「FM ALLOY」は、NACHIの商標登録です。

# 要 旨

NACHIマテリアル事業は、従来の高速度工具鋼（ハイス）に並ぶ新材料として、「FM ALLOY」のブランド名で高機能、高品質、高付加価値材料の開発を推進し、精密型用鋼<sup>※2</sup>『DURO』、プラスチック金型用鋼『PROVA』、機能部品材料『EXEO』をシリーズ化し、新たな用途展開をすすめている。

精密型用鋼DUROは、冷間用途と温・熱間用途に合わせて6材種からなり、高耐摩タイプから高靱性タイプまで多様な特性バランスと、高い清浄度を追求した高性能金型材料シリーズで、年々過酷で多様になる金型市場のニーズにマッチし、優れた寿命実績を誇る。

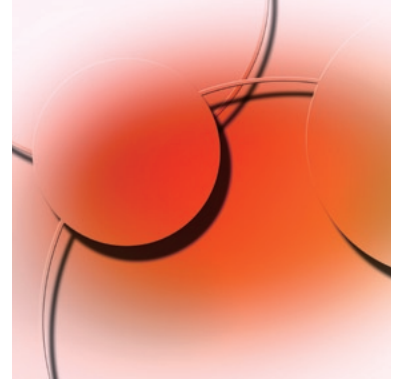
国内初となる完全保護雰囲気型ESR<sup>※3</sup>などの特殊溶解技術の導入により、破壊の原因となる非金属介在物や炭化物偏析を可能な限り少なくした。

## Abstract

NACHI Material Division has developed a new material called FM Alloy that has high performance, high quality and high added value that rivals the conventional High Speed Steels (HSS). FM Alloy series consist of DURO for precision dies, PROVA for plastic dies and EXEO for functional part materials, being applied for various new purposes.

DURO for precision die consist of six different types of materials; four types of materials for cold processing dies and two types of materials for hot processing dies. DURO is a series of materials for high-performance dies, which achieved the superb purity and balance between the strong wear resistance and high level of toughness. Prolonging the die life, DURO satisfies the needs of the die market that has become increasingly strict and diversified year after year.

NACHI is the first in Japan to use the special melting technology of ESR with total protection environment so that NACHI has minimized the carbide segregation and nonmetal inclusion that may cause a breakage in the material.



## 1. 高品質・高性能の金型材料に就いて

自動車や家電製品の部品加工は、生産効率の向上を狙って、切削加工から塑性加工への転換がすすんでいる。また、ワークとなる部品の複雑形状化や難加工素材の適用が多くなり、それに伴い使用される金型にもより大きな力や衝撃がかかるようになってきている。

従来、冷間加工用の金型材料としては、SKS3やSKD11など炭素工具鋼や合金工具鋼が一般的であり、加工条件の過酷な用途や量産用の金型には、高速度工具鋼（以下ハイスとする）が使用されている。また、熱間加工用の金型材料としては、SKD61などの合金鋼が使用されている。

NACHIは、冷間金型材料として、SKH51に代表される一般的な溶解ハイスの他、靱性に優れた<sup>※4</sup>マトリックスハイス系『MDSシリーズ』や粉末ハイス系『FAXシリーズ』を、また、熱間金型材料としては、SKD7改良材『HDN1』といった、特徴ある新材料を市場に提供してきた。



図1 冷間金型の一例

## 2. 精密型用鋼「DURO」の特長

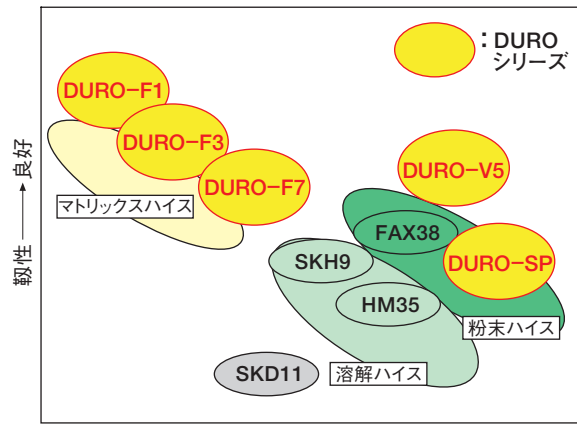
精密型用鋼「DURO」は、NACHI独自の溶解・精錬技術をベースに製造された高品質高性能の金型用材料であり、破壊の原因となる非金属介在物や炭化物偏析を可能な限り少なくした材料となっている。

原材料の厳選を初めとし、国内初となる完全保護雰囲気型ESR(2006年度より稼動)などの特殊な溶解によって不純物の混入を防いでいる。また、材料組織の均一化を狙って、特殊溶解の採用だけでなく、熱間加工条件や工程内熱処理の調整を行なっている。

現在、精密型用鋼「DURO」は靱性と耐摩耗性のバランスに優れた6つの材種からなり、冷間から温・熱間領域までの多様な金型用途に対して適用できるようシリーズ化されている。その特性バランスの位置付けは、図2および図3の通りである。

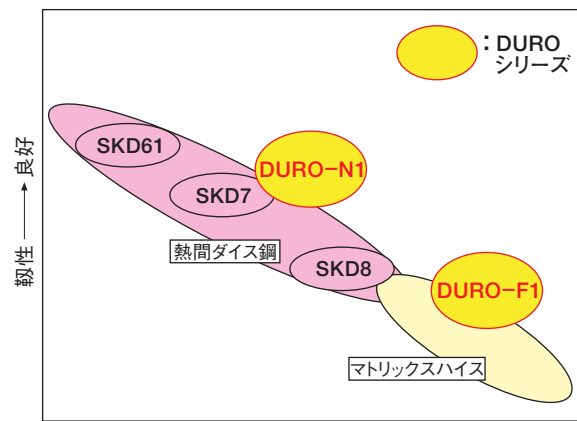
精密型用鋼「DURO」の標準マイクロ組織を、図4に示す。材種によって、内部の硬質炭化物粒子(写真で白く見える粒子)の含有量が異なり、熱間用のDURO-N1が最も少なく、一方、最も耐摩耗性の高いDURO-SPが最も多くなっている。

また、炭化物粒子のサイズは、粉末ハイスより大きく、SKH57やSKD11より小さい中間的なサイズに整粒化されおり、DUROの材料組織上の大きな特徴となっている。



※) 靱性=き裂発生抵抗+き裂進展抵抗 耐摩耗性 → 良好

図2 DUROシリーズ(冷間用)の位置づけ



高温強度 → 良好

図3 DUROシリーズ(温・熱間用)の位置づけ

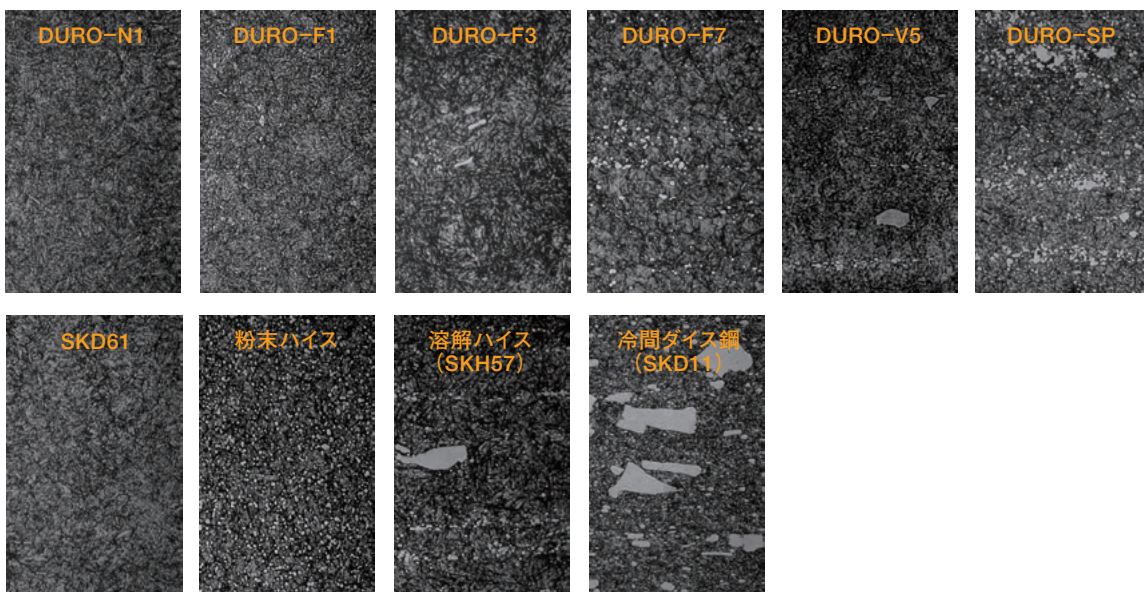


図4 DUROの標準マイクロ組織(ナイタル腐食 500倍)

### 3. 精密型用鋼「DURO」のシリーズ

精密型用鋼「DURO」は、図5のように冷間用と温・熱間用に分類される。冷間用には高靱性タイプでマトリックスハイス系のDURO-F1とDURO-F3、DURO-F7の3材種と、高耐摩タイプで高合金ハイス系のDURO-SP、さらには最近開発した高耐摩・高靱性バランスタイプのDURO-V5がある。

一方、温・熱間用には、高強度タイプでマトリックスハイス系のDURO-F1と高靱性タイプで合金工具鋼系のDURO-N1からなる。

6材種のうちDURO-F1は、冷間用と温・熱間用のどちらでも使用できる材種となっている。

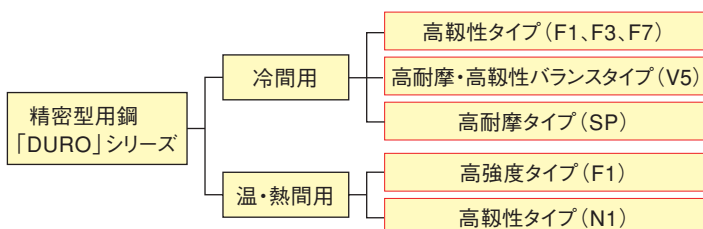


図5 DUROシリーズの構成

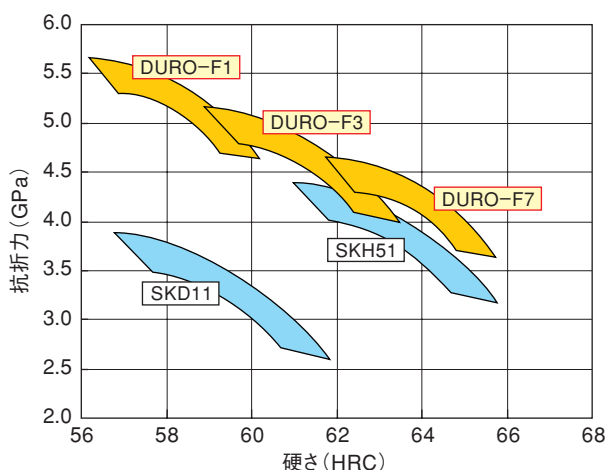


図6 DURO-Fシリーズの抗折力

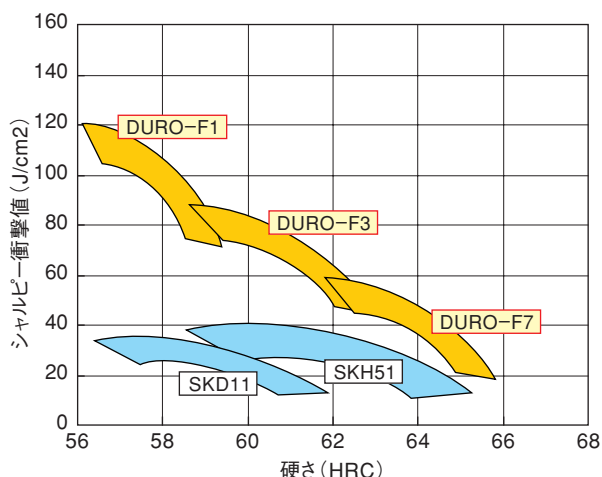


図7 DURO-Fシリーズのシャルピー衝撃値

#### 1) DURO-F1、-F3、-F7 (Fシリーズ) (冷間から温間、熱間加工まで)

Fシリーズは、マトリックスハイス系の3材種からなり、54~65HRCの広い硬度範囲で使用可能である。Fシリーズの中で最も靱性のある材種がDURO-F1で、最も耐摩耗性のある材種がDURO-F7となっており、DURO-F3がその中間的なバランス型グレードとなっている。いずれの材種も非常に優れた靱性を示すのが特長である(図6, 7参照)が、各材種ごとに得意とする硬さ範囲があり、硬さ設定の際は注意が必要である。

3材種の中でも、DURO-F1は60HRCクラスの金型材料としては最高の靱性を有する材料であり、粉末ハイスをも上回る抗折力やシャルピー衝撃値を示す。その高い靱性を活かして、冷間のみならず、温間や熱間加工に至るまで広い用途で好評を得ている。

#### 2) DURO-SP (最高レベルの耐摩耗性)

DURO-SPは、鉄系の金型材料としては最高レベルの耐摩耗性をもつ材種である(図8参照)。また、抗折力やシャルピー衝撃値は一般ハイスのSKH51と同等であり、十分な靱性を有する。標準的な使用硬度は64HRC前後であり、粉末ハイスと同等の硬度を出すことが可能である。

粉末ハイスに比べて靱性はやや低いものの、粉末冶金材料特有のマイクロクラックに対する脆弱性(粉末ハイスは微細な亀裂を起点に大割れしやすい)がなく、割れの伸展に強い材料である。

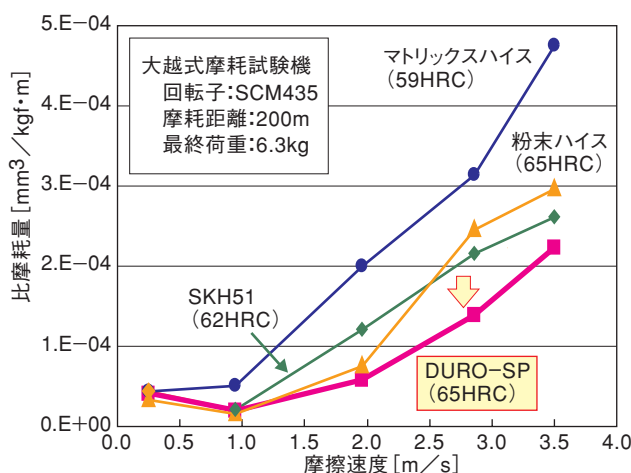


図8 DURO-SPの耐摩耗性

## (ファインブランキングパンチにも)

材料の面粗度を変えた時の靱性値を、図9、図10に示す。DURO-SPは、粉末ハイスに比べ、表面粗度の悪化に鈍感で靱性の落ち込みが少なく、摩耗により金型の肌が荒れても粉末ハイスより高い靱性を示すことを示している。また、粉末ハイスに比べ耐摩耗性が良好なため(図8参照)、金型の表面荒れを遅らせることができる。

以上の特長により、<sup>※7</sup>ファインブランキングパンチなど、局部的に激しい焼付きや摩耗が発生し、チッピングを起こしやすい金型で、抜群の寿命実績を上げている。

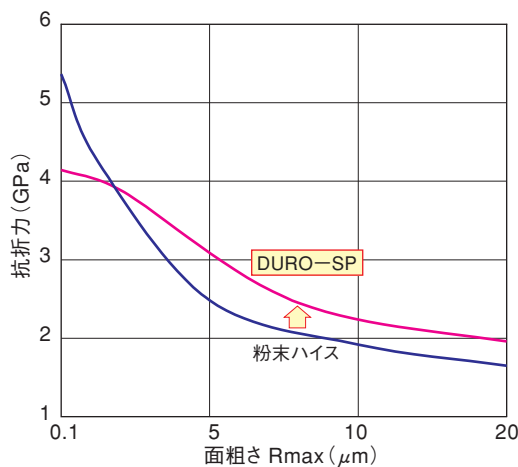


図9 DURO-SPの抗折力(面粗度の影響)

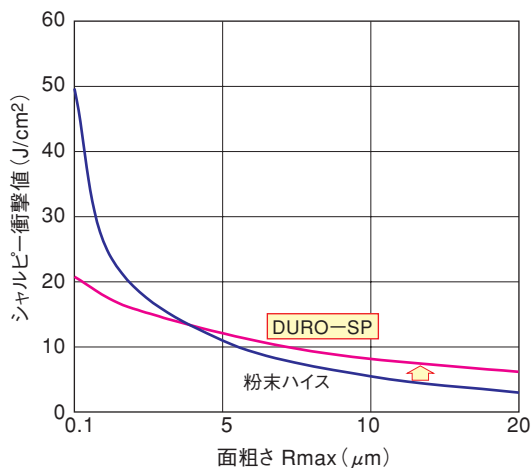


図10 DURO-SPのシャルピー衝撃値(面粗度の影響)

## 3) DURO-V5 (耐摩耗性と靱性の高いバランス)

DURO-V5は、最近開発されたばかりの材種であり、高い靱性と耐摩耗性を合わせ持つ特性バランスの新材料である。標準硬度は60HRCであり、冷間用途として汎用的な硬さ範囲で使用できる。

靱性は、一般ハイスのSKH51はもちろん、従来マトリックスハイスに対しても同等以上の高靱性を示す(図11参照)。一方、耐摩耗性は、とくに溶着摩耗領域において抜群の耐摩耗性を示し、SKH51を超えるレベルにある(図12参照)。

DURO-V5は開発されたばかりの材種であるため使用実績は少ないが、靱性と耐摩耗性の両方が要求され従来の材料では対応できなかったシビアな金型用途に対し、寿命向上が期待される。

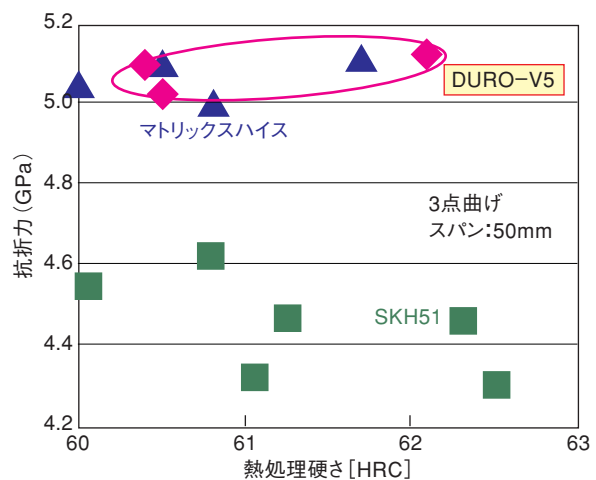


図11 DURO-V5の靱性

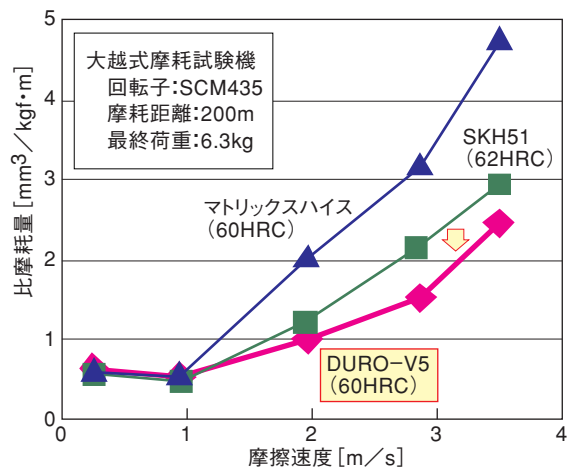


図12 DURO-V5の耐摩耗性

#### 4) DURO-N1 (優れた耐ヒートチェック性)

DURO-N1は、熱間金型用合金工具鋼SKD7の改良鋼であり、熱間金型における耐ヒートチェック性<sup>※8</sup>に特に優れた材料となっている(図13参照)。使用可能な標準硬さ範囲は、50~54HRCであり、熱間金型用

として最も一般的なSKD61よりも高硬度で使用できるのが特長である。これにより、金型の熱ダレや高温摩耗の抑制、さらには、ヒートチェックの発生を遅らせることが可能となっている。このような特徴を活かし、特に強水冷却を伴う熱間加工で良好な実績を上げている。

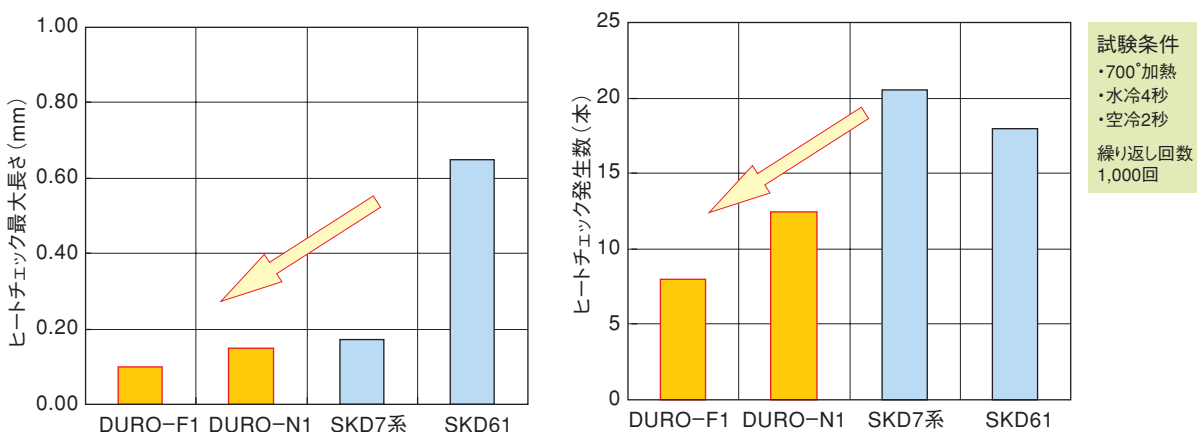


図13 DURO-N1の耐ヒートチェック性

## 4. 精密型用鋼「DURO」の熱処理条件

表1 DURO (冷間用)の標準熱処理条件

材種	目的	焼入れ(°C)	焼もどし(°C)	硬さ(HRC)
DURO-F1	靱性重視	1,100	580×2	56.0
	標準	1,120	560×2	58.0
	耐摩耗重視	1,160	560×2	59.5
DURO-F3	靱性重視	1,100	580×2	59.0
	標準	1,140	580×2	60.0
DURO-F7	耐摩耗重視	1,160	560×2	61.5
	靱性重視	1,120	600×2	60.0
	標準	1,120	580×2	62.5
DURO-V5	耐摩耗重視	1,180	560×2	65.0
	靱性重視	1,140	580×2	60.0
	標準	1,160	560×2	62.0
DURO-SP	耐摩耗重視	1,200	560×3	66.0
	標準	1,160	580×3	64.0
	靱性重視	1,120	600×3	61.0

精密型用鋼「DURO」の熱処理条件は、従来の工具鋼と同様に、真空炉、雰囲気炉、ソルトバス炉などの熱処理方法で対応可能である。

各材種の標準的な熱処理条件を表1、表2に示す。

表2 DURO (温・熱間用)の標準熱処理条件

材種	目的	焼入れ(°C)	焼もどし(°C)	硬さ(HRC)
DURO-N1	耐衝撃重視	1,030	620×2	50.5
	標準	1,050	600×2	52.0
	高温強度重視	1,070	580×2	53.5
DURO-F1	耐衝撃重視	1,080	600×2	54.5
	標準	1,100	580×2	56.0
	高温強度重視	1,140	580×2	57.5

## 5. 精密型用鋼「DURO」の使用事例

精密型用鋼「DURO」の使用事例を、表3に示す。代表的な事例であるファインブランキングパンチの模式図を、図14に示す。ファインブランキング用パンチは、ワークと接触する刃先コーナー部に高い引張応力が発生するため、超硬は適さず、ハイスが重用されている。また、高い面圧からコーティング膜の適用もすすんでおらず、パンチ寿命は母材の性能に大きく依存している。

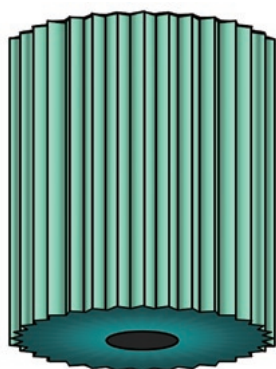


図14 ファインブランキングパンチの模式図

表3 DUROの使用実績

	材種	金型名称	寿命比
冷間用	DURO-F1	打ち抜きパンチ	他社マトリックスハイス対比 寿命5倍
	DURO-F3	転造ローラー	他社冷間型鋼対比 寿命2倍
	DURO-F7	フォーミングラック	他社マトリックスハイス対比 寿命1.5倍
	DURO-V5	ファインブランキング パンチ	他社マトリックスハイス対比 寿命3倍
	DURO-SP	ファインブランキング パンチ	他社マトリックスハイス対比 寿命4倍
		フローフォーミング ※10マンドレル	他社マトリックスハイス対比 寿命5倍
温・熱間用	DURO-N1	異形押出ダイ	他社マトリックスハイス対比 寿命8倍
		ハブ成形ダイ	他社SKD7対比 寿命約1.7倍
		据込み鍛造ダイ	他社SKD8系ダイス鋼対比 寿命約2倍
	DURO-F1	鍛造パンチ	他社SKD61系ダイス鋼対比 寿命約2.2倍
		ノックアウトパンチ	他社SKD61対比 寿命約2.2倍
	DURO-F1	粗鍛造パンチ	SKD7系ダイス鋼対比 寿命約4倍
		粗鍛造リング	SKD7系ダイス鋼対比 寿命約2.4倍

## 6. 精密型用鋼「DURO」の製造可能寸法と型種

精密型用鋼「DURO」は、NACHIで製造可能な、ほぼ全ての寸法と型種で対応可能である。ただし、製品在庫としては、丸鋼と平鋼のみとなり、他の型種については受注生産となる。

# 7. 「FM ALLOY」ブランドの展開

「FM ALLOY」ブランドの高機能・高品質・高付加価値材料として、精密型用鋼「DURO」シリーズは従来にない特長を持つ。

その優れた機械的特性から、過酷な環境下で使用される特殊な機械部品の素材としても注目されており、金型用途にこだわらない用途展開をすすめていく。

「FM ALLOY」の機械部品材料「EXEO」シリーズは、工作機械のスピンドルや射出成形機のスクリーなどに、プラスチック金型用鋼「PROVA」シリーズは、プラスチック成形金型などの用途に展開していく。

## 用語解説

### ※1 FM ALLOY

FM ALLOYは、NACHI新材料のブランド名であり、独自の新製法により、高機能化・高特性能を実現したマイクロ制御合金であることを表わす。

### ※2 DURO

DUROとはラテン語で、「硬くする」、「耐える」といった意味で、過酷な金型環境に耐える強靱な材料をイメージして名付けたもの。

### ※3 ESR

エレクトロスラグ再溶解法の略で特殊溶解法の一つ。電気炉などで一度製造した円柱状の鋼塊の一端をESR炉で少しずつ溶解し、すぐに凝固させることにより、緻密で均一な組織の材料が得られる。また、有害な非金属介在物や偏析を低減することもできるため、材料の機械的強度が改善される。

### ※4 マトリックスハイス

ハイスは面積率で10%以上の炭化物を含有し、高い耐摩耗性を有するが、その炭化物量を1%程度に抑えたハイスをマトリックスハイスと呼んでいる。炭化物を減らすことにより、耐摩耗性は犠牲になるが、高い靱性が得られ、割れや欠けの発生しやすい金型などに多用されている。

### ※5 抗折力

材料の靱性を表す特性値の一つで、試験片を3点曲げにより折った時の最大荷重から求められる。鋼の場合、鍛錬度の影響を大きく受け、同一材種でも、大径材の抗折力は低く、径の小さい材料では大きな値となる。熱処理硬さの影響も受け、材種により抗折力の最も高くなる硬度が異なる。

### ※6 シャルピー衝撃値

抗折力と同じく、材料の靱性を表す特性値の一つであり、試験片を専用の試験機で折った時の吸収エネルギー値から求められる。抗折力と同様に、鍛錬度や熱処理硬さの影響を受ける。抗折力との違いは、その歪み速度であり、瞬間的に試験片が折れるため、衝撃負荷のかかる金型に対して重視される特性値である。

### ※7 ファインブランキング

専用のプレス機械を用いた、冷間打ち抜きと押し出し加工を組み合わせた成形加工で、非常に精密なせん断面を得ることができる。パンチとダイのクリアランスが極端に小さいため、金型にかかる応力も非常に大きく、耐摩耗性と靱性を合わせ持つ高性能な材料が要求される。

### ※8 耐ヒートチェック性

熱間金型は、高温に加熱されたワークと接触し、直後に潤滑剤により冷却される。この急激な加熱と冷却の繰り返しにより、金型表面に微細な熱疲労亀裂が発生する。この亀裂をヒートチェックと呼び、亀裂の発生しにくい材料が耐ヒートチェック性の高い材料となる。

### ※9 強水冷却

熱間金型の表面は、温度上昇により強度が低下し、ふくれやダレが発生し、それを防止するため水（油の場合もある）により冷却される。冷却を強化すると（強水冷却という）、ヒートチェックが発生しやすくなり、型寿命が低下する。DURO-N1は、耐ヒートチェック性が高く、強水冷却に強い材料である。

### ※10 フローフォーミング

主軸に取り付けられたマンドレルに、複数のローラーでワーク材を押しつけ、その歯溝形状を転写するとともにワークを押し伸ばす加工法。複雑形状であるマンドレルには高い応力が負荷されるため、強度（硬さ）と同時に高い靱性が求められる。