

技術資料



Technical Paper

金型用マトリックスハイス DRM 鋼の実用事例

中濱俊介*¹, 清水崇行*²

The Practical Use Example of Matrix Type High Speed Tool Steels 'DRM' for Forming Dies

Shunsuke Nakahama and Takayuki Shimizu

Synopsis

'DRM series' is new matrix type high speed steel. It is composed of three steels 'DRM1, DRM2, DRM3' which are used with the maximum hardness 58, 62 and 66 HRC, respectively. These steels are characterized by their more finely dispersed carbides free from coarse primary ones, higher fatigue strength and toughness than conventional steels.

Molds which are used for precision forging on high hardness have the problems of the small crack. Application of DRM steels showed the effect to the life improvement of the mold with this problem. The greatest reason of longer mold life was higher fatigue strength which is the feature of DRM steels.

The DRM steels have shown longer life mainly in forging tools of automobile and machinery components. They are further expected to expand their application fields.

1. 緒 言

自動車や家電産業の基盤を支える重要な要素技術として塑性加工があり、その中でも鍛造は重要な要素である。その鍛造において、金型の担う役割は大きい。近年、「コストダウン」・「短納期」といった顧客要求対応のため、塑性加工技術が急速に進歩し、ネットシェイプ・ニアネットシェイプ化が進んでいる。その結果、温間・冷間鍛造が多用されるようになり、また、製品形状の複雑化で、金型の使用環境がより過酷となっている。これにより、高い面圧や摺動摩耗、衝撃負荷を受けることで、金型の短寿命化が顕著になってきている¹⁾²⁾。

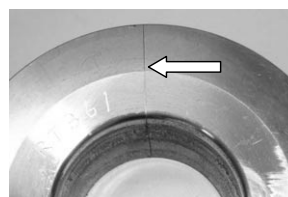
本稿では、この厳しい環境に対応すべく開発された金型用マトリックスハイス「DRM（ドリーム）」を適用し、型寿命改善を行った事例について紹介する。

2. 金型の短寿命傾向

鍛造金型の主な寿命形態は、割れと摩耗であり、割れの場合の方が摩耗に比べ短寿命の傾向にある。割れを大

別すると Fig.1 に示すように2種類の割れ方があり、精密鍛造に使用された最近の金型の割れは、細かい割れが乏らなった形態（Small crack）が多く認められる。

Warm forging ring die

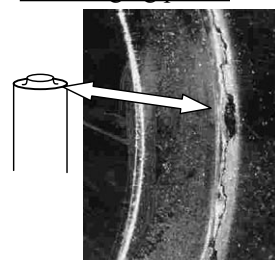


Gross crack

Toughness

Higher tough and fatigue strength steels

Cold forging punch



Small crack

Fatigue strength

Fig.1. Example of failed forging tools and countermeasure to enlarge forging tools life.

2007 年 8 月 31 日受付

* 1 大同特殊鋼(株)工具鋼技術開発部 (Tool Steels Technology, Planning & Metallurgical Service Department Daido Steel Co., Ltd.)

* 2 大同特殊鋼(株)研究開発本部 (Daido Corporate Reserch & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

割れは、Fig.2に示すように、金型表面での、‘き裂発生’、‘き裂の進展（安定き裂成長域）’、そして、‘き裂の急激な進展（大割れ）’の3段階で進行する。金型のき裂発生は、鍛造荷重や熱応力による疲労で生じ、疲労強度の高い方が、き裂発生までのショット数は多くなるため、型寿命は向上する。また、一般的に安定き裂成長域のき裂進展挙動は、鋼種や硬さの顕著な影響は認められない。一方、き裂の急激な進展を抑制するためには、破壊靱性値を高める必要があり、硬さ低減が有効とされる³⁾。Fig.1に認められる「大割れ（Gross crack）」は、一般的に短寿命で、「細かい割れ（Small crack）」は、大割れに比べて寿命が長くなる。これは、繰り返しかかる応力差によるものと推測され、長寿命化対策として、大割れには破壊靱性値の向上、高面圧下で使用される高硬度金型材に認められる細かい割れには、疲労強度の向上が必要と推測される。

3. DRM 鋼の特徴

DRM は、マトリックスハイス（以下 MHSS）であり、既存の MHSS や高速度工具鋼（以下 HSS）に比べ高硬度・高靱性・高疲労強度で、用途に合わせて鋼種を選択できるように、3 鋼種で構成されている。DRM の位置付けを Fig.3 に示す。

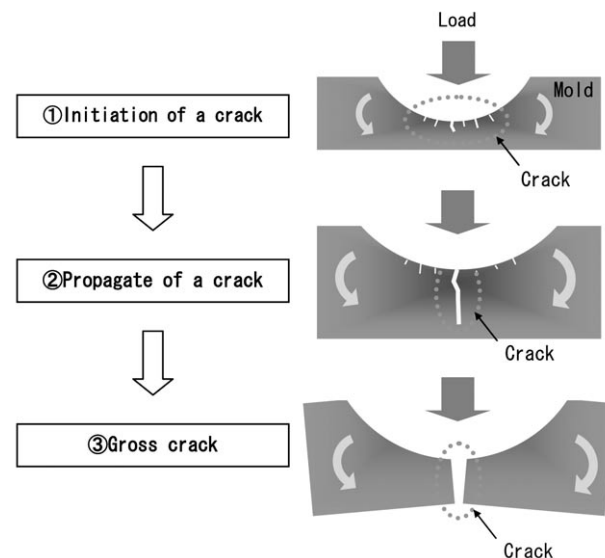


Fig.2. The process of a crack.

DRM の最大の特徴は、Fig.4に示す組織である。既存の MHSS に比べ、粗大な炭化物が極力低減されている。疲労強度向上のためには、粗大な炭化物の低減および炭化物の微細化、介在物の除去が必要であることが知られており^{4)~6)}、Fig.5、Fig.6に示すように、DRM 鋼は、既存の MHSS や HSS に比べ疲労強度が向上している。DRM の主な組成および特徴を Table 1 に示す⁷⁾。

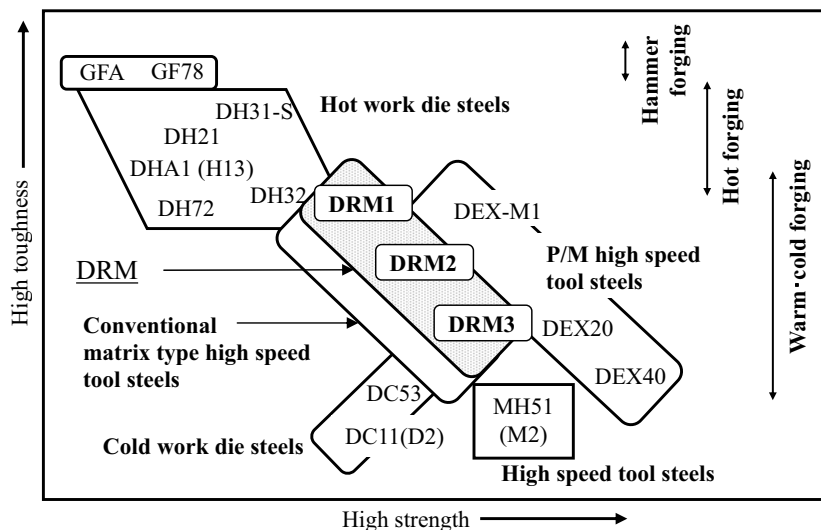


Fig.3. Positioning of DRM steels in Daido tool steels (Strength vs. Toughness).

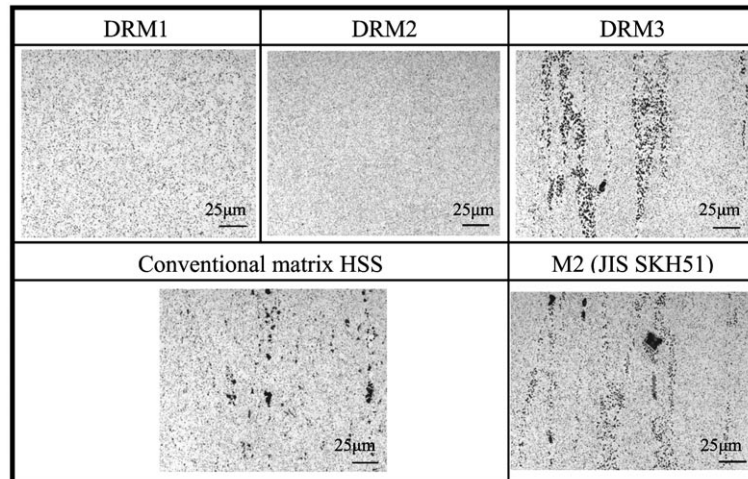


Fig.4. Microphotograph of DRM steels as annealed. Observational position: 1/2D of 150 diameter. Etching :Cr₂O₃ electrolytic etching.

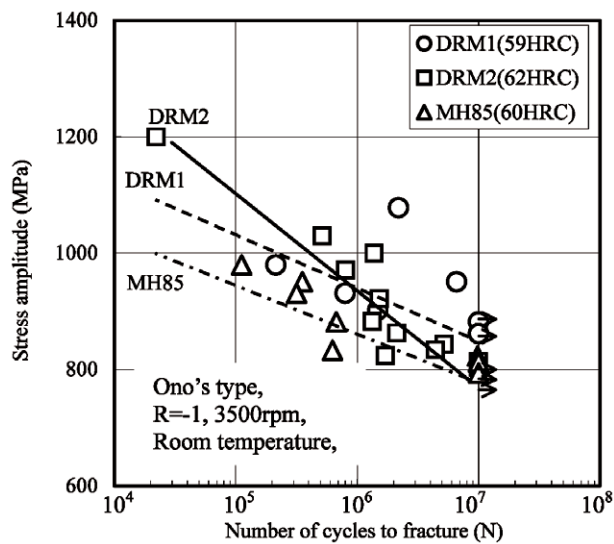


Fig.5. Fatigue strength of DRM1, DRM2 and conventional Matrix HSS (MH85).

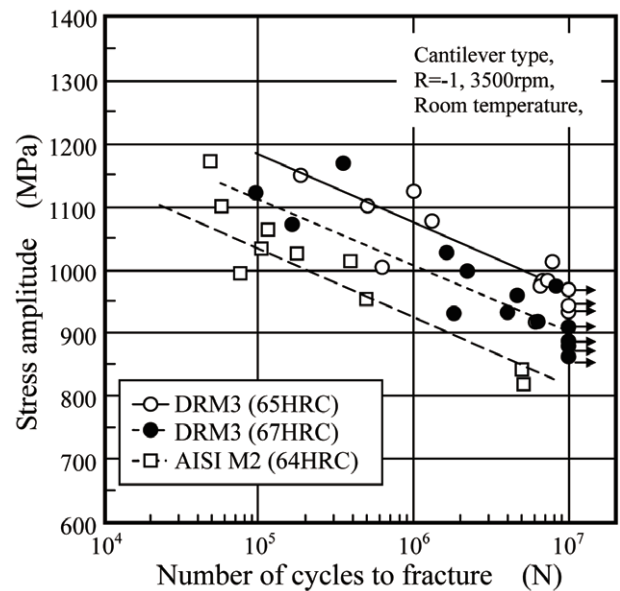


Fig.6. Fatigue strength of DRM3 and AISI M2 steels.

Table 1. Principal chemistries and Special features of DRM steels.

Grade	Chemical composition (wt%)					Hardness (HRC)	Applications
	C	Cr	Weq.*	V	Co		
DRM1	0.6	4.2	5.0	1.5	In	56~58	Hot and warm working tools: High hard hot forging tools
DRM2	0.7	5.5	6.0	1.0	-	58~62	Warm and cold working tools :High tough cold forging tools
DRM3	0.8	5.5	10.0	1.0	-	62~66	Cold working tools: When AISI D2 and M2 have problems with strength and toughness

* Weq.=2Mo + W

4. DRM の実用事例

4. 1 DRM1 の実用事例

4. 1. 1 実用例と解析

DRM1 は、熱間・温間鍛造型で、熱間ダイス鋼や HSS の割れや摩耗対策に効果を発揮する。実用の一例を Fig.7 に示す。この事例は、ホットフォーマーに使用されていた AISI M2 製フロントダイの割れ寿命対策に DRM1 を適用した事例である。

寿命形態は、型内径面の円周方向に発生する割れで、割れ周辺の内径面には、円周方向に細かいき裂が観察された。この割れは、型が下方に引張応力を繰返し受け、初期の細かいき裂（疲労破壊）発生後、その割れが進展し、大割れに至ったと推測された。Fig.8 に低サイクル側の疲労強度を示す。DRM1 は、M2 に比べ疲労強度が高く、初期き裂発生防止に効果があると推測され、寿命改善が期待されることから、適用を試みた。その結果、最終の寿命形態は同じような円周方向に発生する割れであったが、金型寿命は向上した。割れ周辺の内径面を観察すると、細かいき裂からヒートクラックに割れの形態が変化しており、疲労強度の向上により、機械的な疲労割れか

ら、熱による疲労割れに変化し、初期き裂の発生抑制によって、寿命改善効果が得られたと推測された。また、DRM1 に浅い窒化を施すことで、さらに寿命向上を図ることができた。これは、型表面強度の向上により、型表面の疲労強度が向上し、ヒートクラックの発生を遅らせたことにより、初期のき裂発生を抑制したためと推測している。

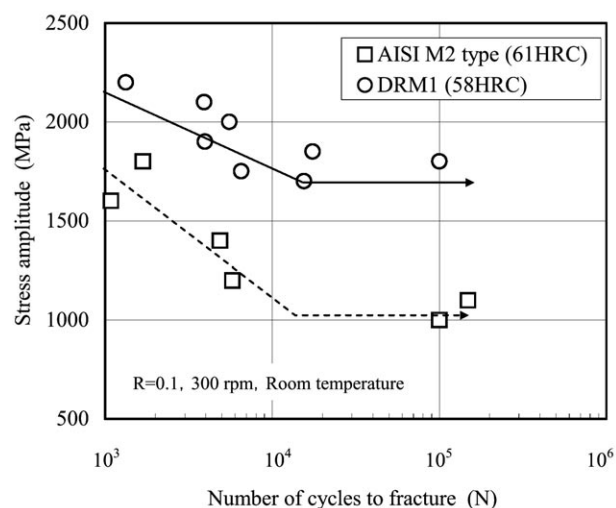
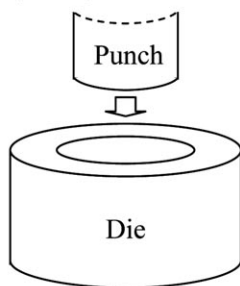


Fig.8. Fatigue strength of DRM1 and AISI M2 steels.

(Mold)
Hot former dies
(Product)
Bearing parts
(Use enviroment)
Hot forging
(Tools)



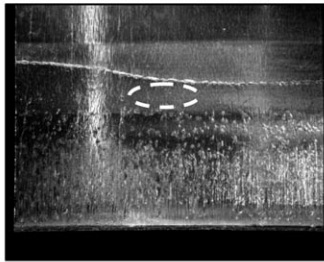
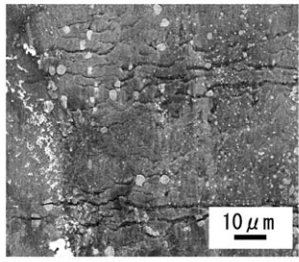
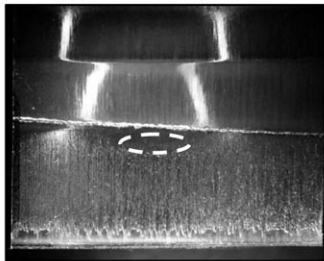
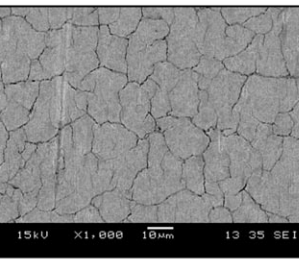
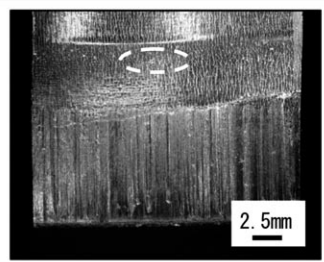
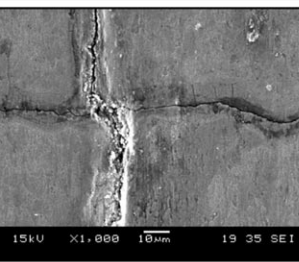
	Hardness	Life	Observation of bore	SEM observation at surface
M 2	62HRC	2,500 S		
D R M 1	58HRC	7,000 S		
D R M 1	58HRC + Nit- riding	20,000 S		

Fig.7. An example of application (DRM1).

4. 1. 2 適用事例

Table 2 に DRM1 の適用事例を示す。鍛造型で、熱間ダイス鋼、既存の MHSS や HSS の割れや摩耗対策に効果を発揮した。特に、割れ対策に効果を発揮し、高硬度分野で主に疲労強度向上による初期き裂発生抑制により、約 2 倍以上の寿命改善を行うことができた⁸⁾。

4. 2 DRM2 の実用事例

4. 2. 1 実用例と解析

DRM2 は、温間、冷間鍛造用途で寿命改善に効果を発揮する。実用の一例を Fig.9 に示す。この事例は、ベアリング成形金型に使用されていた 8Cr 系冷間ダイス鋼製パンチの割れ寿命対策に DRM2 を適用した事例である。

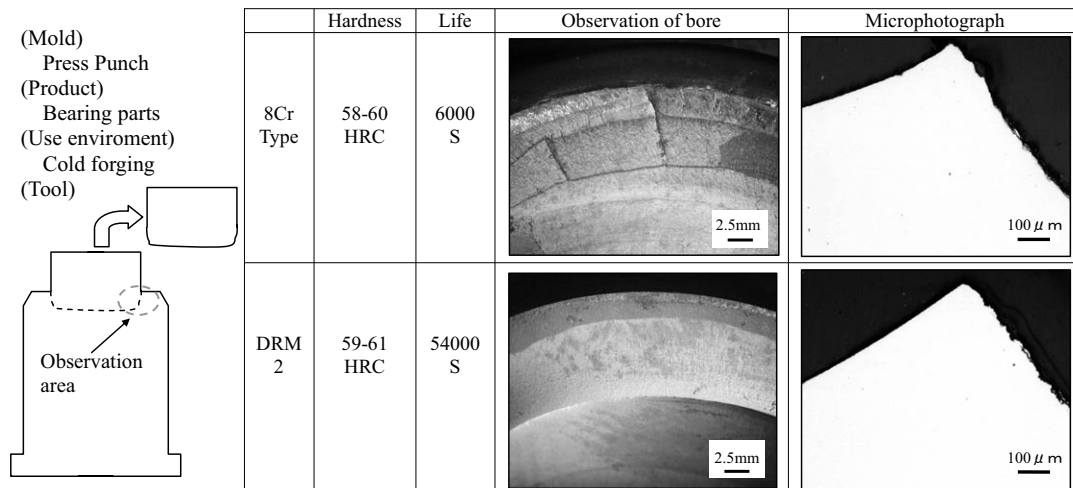


Fig.9. An example of application (DRM2).

Table 2. Applications of DRM1.

Conventional steel	Mold	Products	Size	Use environment	Work	Life and failure mode ※		Improvement point ※※			
						DRM1	Conventional	①	②	③	④
Hot work die steel	Press punch	Bearing parts	90 D × 250 L	Hot forging	52100	56 HRC - 10000 s, Crack(a)	4Cr-3Mo type 51-53 HRC Nitriding 5000 s, Crack(a)	◎		○	
	Forging die	Connecting rod	50 H × 180 W × 450 L	Hot forging	Micro-alloyed steel	48-50 HRC Nitriding 29000 s, Wear	AISI H13 45-48 HRC Nitriding 15000 s, Wear			◎	○
	Press punch	CVJ Inner lace	100 D × 140 L	Worm forging	SNM	57 HRC Nitriding 1800 s, Wear	AISI H13 50 HRC Nitriding 900 s, Wear			◎	○
Conventional Matrix high speed steel (MHSS)	Press punch	Automotive slide gear	100 D × 150 L	Hot forging	4120	55 HRC 12000 s, Crack(a)	MHSS 55-57 HRC 6000 s, Crack(a)	◎		○	
	Hot former ejector	Bearing parts	40 D × 90 L	Hot forging	52100	58 HRC - 15000 s, Wear	MHSS 56-58 HRC Stellite overlaid 15000 s, Wear			○	◎
	Press punch	Automotive parts	140 D × 75 L	Cold forging	4140	56-58 HRC PVD coating 47000 s, Chipping(a)	MHSS 56-58 HRC PVD coating 20000 s, Chipping(a)	◎		○	
High speed steel (HSS)	Hot former die	Bearing parts	130 D × 35 L	Hot forging	52100	57 HRC Nitriding 20000 s, Crack(a)	AISI M2 61-63 HRC - 2500 s, Crack(a)	◎		○	

※ Crack type : a・Small crack, b・Gross crack

※※ Improvement point : ① Fatigue strength, ② Toughness, ③ Hot temperature strength, ④ Temper softening resistance

寿命形態は、「首とび」と呼ばれる割れで、パンチコーナー部から徐々にき裂が発生し、あるところまで割れが進むと、製品にくっついたままパンチ部がもぎ取られてしまう現象である。これは、成形時に製品がパンチに食いつき－剥がすという繰返し作業が、繰返しの応力を生み、疲労破壊によって割れが発生したと推測された。そこで、8Cr系冷間ダイス鋼よりも疲労強度の高いDRM2の適用を試みた。各鋼種の疲労強度をFig.10に示

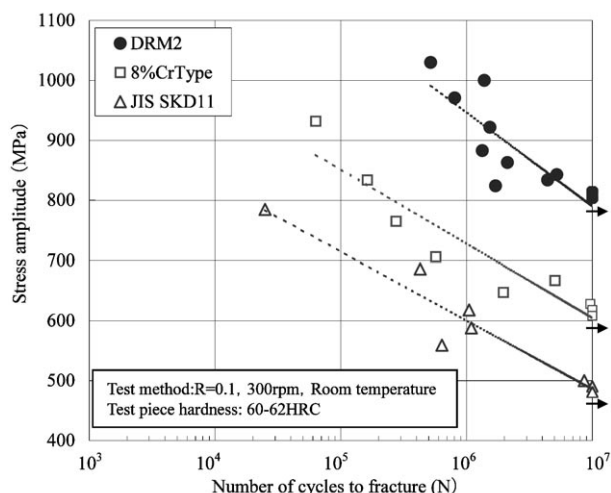


Fig.10. Fatigue strength of DRM2 and Cold work die steels.

す。その結果、最終の破壊形態に変化はないものの、型寿命が大幅に向上した。これは、疲労強度向上により、初期き裂発生時期を遅らせることで型寿命が向上したと推測している。

4. 2. 2 適用事例

Table 3に DRM2 の適用事例を示す。温間、冷間鍛造用途で寿命改善に効果を発揮し、特に、温度が低い鍛造領域で、冷間ダイス鋼や既存の MHSS, HSS の疲労強度不足による欠け・割れ問題の改善に効果を示した。また、粉末ハイスの代替として適用し、同等の評価が得られ、型費の低廉化を実現した。これらは、現用の材料に比べ、疲労強度や靱性が向上したことが、金型寿命向上に寄与したと考えている⁹⁾。

4. 3 DRM3 の実用事例

4. 3. 1 適用事例

DRM3 の適用事例を Table 4 に示す。M2 や冷間ダイス鋼製の冷間工具のチップングなどに見られる疲労強度不足や硬度不足による摩耗対策に効果を示した。また、DRM3 は焼入性を向上させているため、寸法が大きく、靱性不足が発生しやすいロールなどでも、寿命改善を図ることができた。

Table 3. Applications of DRM2.

Conventional steel	Mold	Products	Size	Use environment	Work	Life and failure mode*		Improvement point**		
						DRM2	Conventional	①	②	③
Conventional Matrix high speed steel (MHSS)	Forging die	Outer lace	80 D × 100 L	Warm forging	Carbon steel	57-59 HRC Shrink fitting 12000 s, Wear	MHSS 54-56 HRC Shrink fitting 4000 s, Wear		○	◎
	Knock out sleeve	Starter motor parts	40 D × 100 L	Cold forging	4140	60-62 HRC 320000 s, Crack(a)	MHSS 58-60 HRC 10000 s, Crack(a)	◎	○	
	Powder forming punch	Automotive parts (Sensor)	100 D × 150 L	Cold forming	AISI M2 Powder	60-62 HRC 120000 s, Crack(a)	MHSS 59-61 HRC 15000 s, Crack(a)	◎	○	
Cold work die steel	Press punc	Bearing parts	95 D × 150 L	Cold forging	52100	62 HRC PVD coating 54000 s, Breakage(a)	8Cr type 58-60 HRC PVD coating 6000 s, Breakage(a)	◎	○	
	Powder forming punch	Automotive parts (Gear)	30 D × 80 L	Cold forming	AISI M2 Powder	60 HRC 24000 s, Crack(a)	AISI D2 57-59HRC 2000 s, Crack(a)	◎	○	
	Forming roll	Stainless pipe	300 D × 100 L	Cold roll forming	Stainless steel	60 HRC 1.5 times, Chipping(a)	8Cr type 50-55 HRC Chipping(a), Crack(b)	◎	○	
High speed steel (HSS)	Press die	Sensor cover	10 D × 50 L	Cold forging	Stainless steel	61 HRC 390000 s, Crack(a,b)	AISI M2 62-64 HRC Early stage crack(b)	○	◎	
Powder Metallurgy HSS	Mandrel	Bearing Lace	30 D × 220 L	Cold rolling	52100	60 HRC Surface coating 12000 s, Fracture(a)	P/M HSS 61-63 HRC Surface coating 12000 s, Fracture(a)	◎		
	Emboss roll	Celluloid food container	120 D × 550 L	Cold rolling	Celluloid	59-61 HRC Same life, Crack(a)	P/M HSS 60-62 HRC Crack(a)	◎		

※ Crack type : a··Small crack, b··Gross crack

※※ Improvement point : ① Fatigue strength, ② Toughness, ③ Wear resistance

Table 4. Applications of DRM3.

Conventional steel	Mold	Products	Size	Use environment	Work	Life and failure mode *		Improvement point **		
						DRM3	Conventional	①	②	③
Conventional Semi HSS	Press punch	Automotive parts	180 D × 70 L	Cold forging	High strength steel	63-65 HRC 160000 s, Chipping(a)	Semi HSS 63-65 HRC 50000 s, Chipping(a)	◎	○	
High speed steel (HSS)	Press punch	Bearing parts	90 D	Cold forging	SC	65 HRC 60000 s, Chipping(a)	AISI M2 63 HRC 40000 s, Chipping(a)	◎	○	
Cold work die steel	Thread rolling die	Bolts	15 H × 30 W × 100 L	Cold forming	SCM	65 HRC 30000 s, Chipping(a)	8Cr type 60-62 HRC 10000 s, Chipping(a)	◎	○	
	Forming roll	Stainless bar	100 D	Cold roll forming	Stainless steel	66 HRC 3 times, Wear	JIS SKD11 61 HRC Wear	○		◎
	Emboss roll	Seal	200 D	Cold rolling	Paper	65 HRC 2 times, Wear	JIS SKD11 61 HRC Wear	○		◎
Hard metal	Press die	Bolts	60 D × 45 L	Cold forging	SCM	64-66 HRC 10000 s, Crack(b)	Hard metal - 9000 s, Crack(b)	○	◎	

※ Crack type : a・・・Small crack, b・・・Gross crack

※ Improvement point : ① Fatigue strength, ② Toughness, ③ Wear resistance

5. まとめ

粗大な炭化物を極力減らし、疲労強度および靱性を改善した「DRM 鋼」は、最近の金型寿命の主要因である割れ問題に対し、効果を発揮することを確認した。特に、疲労強度の向上は、き裂の発生を抑制する傾向にあり、細かい割れを嫌う精密金型への適用に効果があることを確認した。また、初期き裂発生抑制は、Total の型寿命向上に寄与していることもわかった。今回の調査結果をもとに、型寿命改善の一つの目安用として作成した各鋼種の疲労強度特性の位置付けイメージを Fig.11 に示す。今後、DRM 鋼は、高硬度で使用される精密鍛造金型の分野で、熱間・温間・冷間と幅広い用途での適用が期待される。

(文 献)

- 1) 松田幸紀：Journal of the JSTP, 42 (2001), 3.
- 2) 中浜俊介, 尾崎公造, 松田幸紀：型技術, 19 (2004), 12, 56.
- 3) 塩田哲郎, 井上幸一郎, 太田明男, 安居英則, 小森誠：型技術, 20 (2005), 8, 124.
- 4) 清永欣吾：鋼の強靱性, (1971), 209.
- 5) K.Ozaki, Y.Matsuda and K.Sudo：26th ICFG Plenary Meeting Osaka, Program No.16, (1993), oral only.
- 6) 尾崎公造：電気製鋼, 76 (2005), 249.
- 7) 中浜俊介, 松田幸紀, 並木邦夫, 尾崎公造：電気製鋼, 76 (2005), 279.

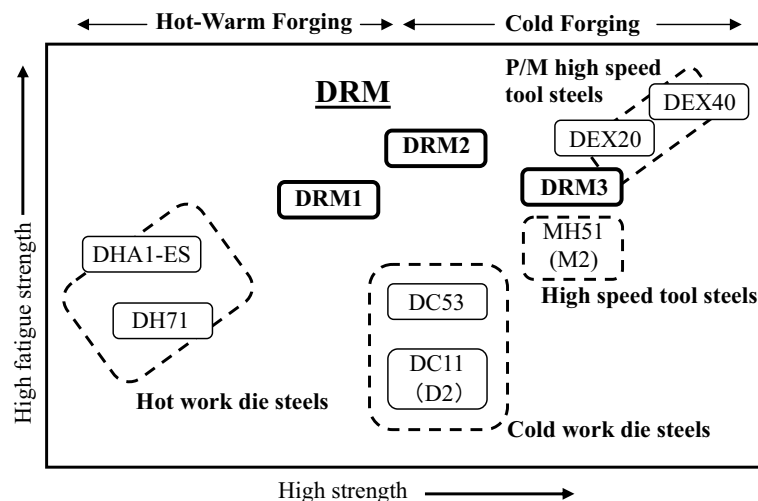


Fig.11. Positioning image of DRM steels in Daido tool steels(Strength vs. Fatigue strength).

- 8) 森川秀人, 塩田哲郎, 松苗宏樹, 小森誠 : 型技術, 22 (2007), 8, 104.
- 9) S.Nakahama, Y.Matsuda, K.Namiki and K.Ozaki : SEAI SI 2005 Conference Exhibition, (2005), 39.