

プラスチック成形用金型における成形性向上に関する研究

佐野 正明・寺澤 章裕

Study of Formability Improvement on Plastics Molding Die

Masaaki SANO and Akihiro TERASAWA

要 約

本研究では、成型時の取り出し不良やガス汚染物質付着などによる寸法精度の変化や外観不良を抑制することを目的とし、効果的な対応策の一つとして金型鋼への表面処理（プラズマ窒化処理）を施し、金型表面状態とその成形性等から各種の検討を行った。その結果、本表面処理を施すことにより、最表面には硬化層が形成され、その硬化層領域は表面から 120 μ m 程度まで存在することがわかった。これは最表面の硬化層は $Fe_2.4N$ の存在によるものと考えられる。また繰り返しの射出成形を行うことにより、ガス汚染物質の付着が製品底面に認められたが、表面処理による効果はあまり認められなかった。

1. 緒 言

各種の金型利用産業において、生産効率向上のためには、金型の長寿命化をはじめ、メンテナンス時期の長期化、作業の高効率化は必要不可欠である。特にプラスチック射出成形はダイカストに比べ成形温度が低く、軽量素材であるため取扱いが容易で、複雑形状の製品を大量に生産することが出来る長所があり、製品製造の主流となってきた。

しかし、成形時に製品の取り出し不良やガス汚染物質残存等の問題が発生し、これらにより寸法精度を損ねたり、外観不良を引き起こす要因となり、作業現場ではその対策に苦慮している。特に薄肉・微細な成形金型を製作する際には表面粗さの低減をはじめ、離型性・流動性の向上やガス成分の付着防止も重要な課題であり、早期解決が望まれている。

そこで本研究では、各種加工条件により製作された金型鋼素材に対し、離型性とガス汚染物質付着等のトラブル対策について、金型表面状態とその成形性等から検討を行った。

2. 実験方法

2-1 実験素材

実験にはプラスチック射出成型用金型材料として一般的に広く用いられている NAK80（大同特殊鋼(株)製、析出硬化系ブリハードン鋼、40HRC）を用いた。

2-2 金型の加工

金型の加工は当センター保有の(株)牧野フライス製作所製マシニングセンタ HYPER5 により、S10000rpm, $F_{xy}470$ m/min & F_z200 m/min で、その他の条件は表 1 のとおり加工した。金型は加工の容易さからダイプレート（キャビティ、コア）にスライドコア（入れ子）を組み込む形態をとり、スプルーから 4 方向

のランナーを設け、サイドゲートから樹脂を充填する 4 個取りの金型とし、成型機にセットした。

表 1 加工条件

Conditions		Depth of cut(Z)	Depth of cut(XY)
(a)		0.05mm	0.1mm
(b)		0.05mm	0.2mm
(c)	rough	0.10mm	0.2mm
	finishing	0.05mm	0.1mm

2-3 表面処理

マシニングセンタ加工後の加工面に対し、窒化処理を施し、窒化処理の有効性について検討した。本窒化処理は一般的にプラズマ窒化処理と呼ばれるもので、高電圧・低ガス圧中でのガス放電による電場内で、窒素のイオン化を図り、Fe と反応させる処理である。

3. 結果および考察

3-1 切削加工面の表面粗さ

金型は製品形状が $\square 5$ mm、高さ 10mm 程度の四角柱形状となるように、マシニングセンタで加工し、キャビティ側およびコア側にそれぞれ 1 度のテーパを設けた（図 1）。切削工具はコーティング超硬ボールエンドミルで 1 度のテーパ付き工具とテーパなし工具で行った。加工した金型表面の表面粗さ測定結果を表 2 に示す。その結果粗さ曲線から求めた最大高さ（ μ mRz）はどの条件でも 2μ mRz とほぼ同程度の値であったが、断面曲線から求めた最大高さ（ μ mPt）ではうねり成分が付加され大きな違いとなった。No.1 は cond.(a) で 1 回加工し、No.2

は cond.(a)で2回加工したものである。No.1では $17.30\mu\text{mPt}$ であったが、No.2では $6.20\mu\text{mPt}$ と大幅に改善された。No.3は cond.(b)で加工したものであり、No.1に比べ、XY方向の切り込み量を大きくしたものであるが、やや大きな表面粗さとなった。これに対し、No.4は cond.(c)で加工したものであり、No.3の cond.(b)に比べ、XYの切り込み量を大きくしたものであるが、表面粗さはやや良好となった。No.5はNo.1と同条件で1度のテーパとなるようにテーパなし工具で加工したものであるが、表面粗さは大幅に改善された。

加工表面は離型性評価に、形状の影響が出ないように、粗さ曲線から求めた最大高さで $2.5\mu\text{mRz}$ 以下で、断面曲線から求めた最大高さで $3.5\mu\text{mRz}$ 以下となるNo.5の切削条件で加工した金型を用いることとした。ダイプレートに組み込む前のスライドコア（入れ子）を加工した形態を図2に示す。

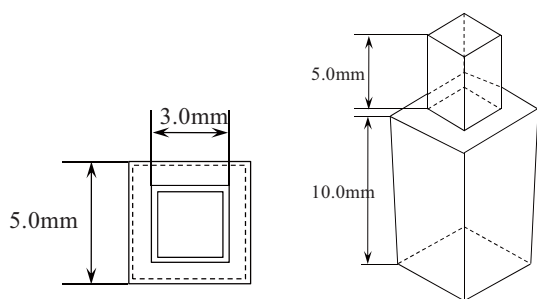


図1 製品形状

表2 加工した金型表面の表面粗さ測定結果

No.	Condition	Tool	μmRz (μmRa)	μmPt
No.1	Cond.(a)	Taper BALL	1.89 (0.37)	17.30
No.2	Cond. (a) \times 2	Taper BALL	1.79 (0.28)	6.20
No.3	Cond. (b)	Taper BALL	2.16 (0.46)	22.00
No.4	Cond. (c)	Taper BALL	2.21 (0.371)	11.71
No.5	Cond. (a)	NoTaper BALL	2.21 (0.36)	3.27



図2 スライドコア（入れ子）を加工した形態

3-2 窒化処理による表面粗さの変化

図3に加工した金型の表面粗さ測定結果を示す。No.1試験片は切削加工したままの状態、粗さ曲線から求めた最大高さは $1.89\mu\text{mRz}$ 、断面曲線から求めた最大高さは $17.30\mu\text{mPt}$ であった。その試験片に対し窒化処理を施したときの表面粗さは $2.17\mu\text{mRz}$ 、 $17.63\mu\text{mPt}$ とほぼ変化はなかった。これに対し、初期の表面粗さが小さいNo.5の場合、切削加工したままの状態が $2.21\mu\text{mRz}$ 、 $3.27\mu\text{mPt}$ であったのに対し、窒化処理を施した場合 $2.29\mu\text{mRz}$ 、 $2.51\mu\text{mPt}$ とほとんど変化はなかった。切削加工面に窒化処理を施しても初期の状態に関わらず、表面粗さに影響を及ぼさないという結果となった。これは表面粗さ状態の変化を嫌う金型の表面処理に有効な手段となる事がわかった。

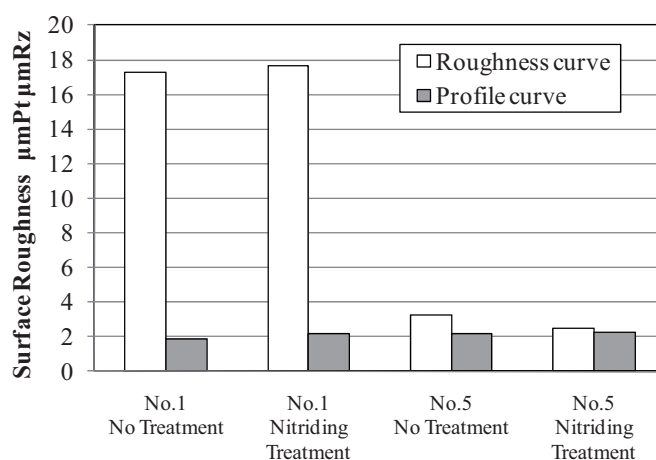


図3 加工した金型の表面粗さ

3-3 窒化処理による硬さの影響

図4に加工した金型の硬さ測定結果を示す。断面内における表面直下の硬さ分布をビッカース硬さ試験機により測定した。切削加工したままの硬さは、最表面近傍で 430HV 程度であり、その直下において多少のばらつきはあるが、 $420\sim 450$ 程度で推移した。これに対し窒化処理を施した試験片の場合、最表面近傍の硬さは 640HV と高い値を示した。その直下で硬さは減少したが、硬化層領域は $120\mu\text{m}$ 程度の範囲まで存在した。図5に測定箇所の違いによる硬さの違いを調べた結果を示す。金型の左側面、右側面および底面をそれぞれ測定したが、各測定箇所ともに多少のばらつきはあるものの、ほぼ同様な傾向を示した。これにより、窒化処理は最表面を硬化させる効果と、更にリブ形状のような凹凸のあるものでも均一に処理することが可能であることがわかった。

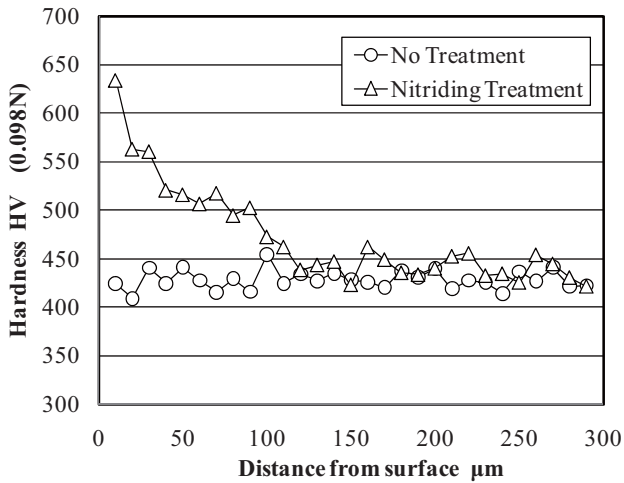


図4 加工した金型表面付近のビッカース硬さ

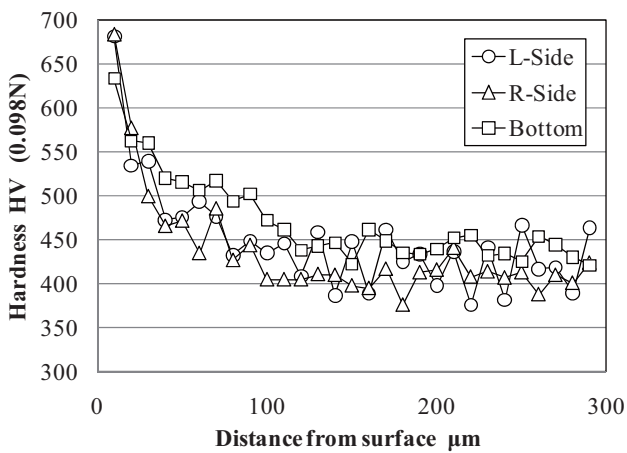


図5 測定箇所の違いによる硬さの違い

3-4 表面処理（窒化）による残留応力の影響

図6に金型表面の残留応力測定結果を示す。切削加工したままの状態では100MPa程度の弱い圧縮応力が付与されていたが、この面に窒化処理を施すと、1000MPa程度の高い圧縮応力となることがわかった。金型の長寿命化には圧縮応力の付与が良いと言われていることから有効な処理になると考えられる。

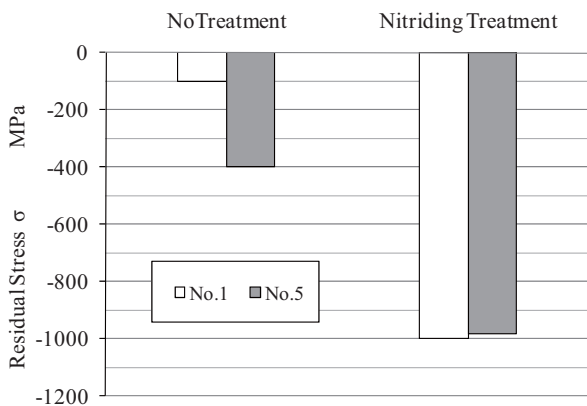


図6 金型表面の残留応力測定結果

3-5 窒化処理前後のX線回折の変化

図7に金型表面のX線回折による分析結果を示す。切削加工したままの状態では α Feの回折線ピークしか認められなかった。しかしこの面に窒化処理を施すと α Fe回折線ピークに加え $Fe_{2-4}N$ （窒化鉄）が認められた。この化合物層の存在が硬さを向上させているものと考えられる。

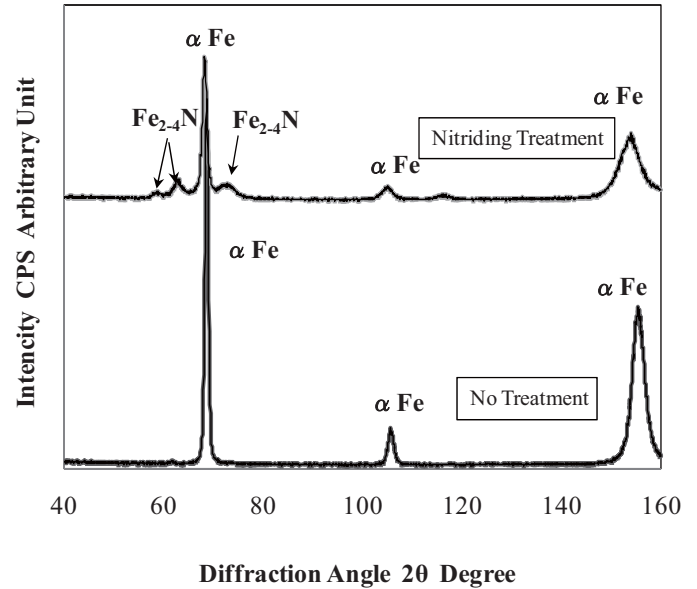
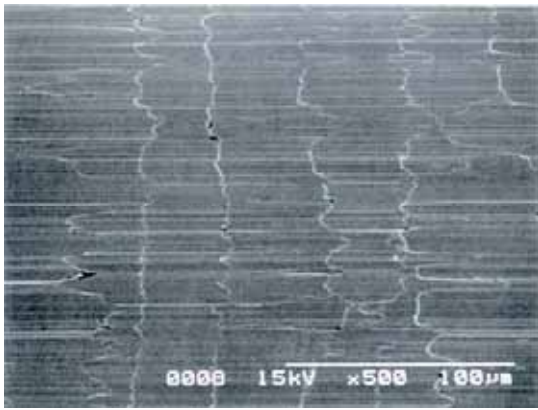


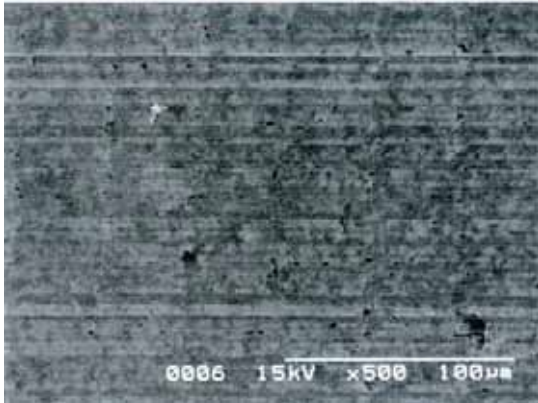
図7 金型表面のX線回折による分析結果

3-6 表面処理前後のSEM観察結果

図8に金型表面のSEM観察結果を示す。(a)は切削したままの状態であり、全面にわたって明確にツールマークが確認できる。これに対し、窒化処理した状態では、ツールマークは減少し、ややぼやけた形態を見せていた。表面粗さの値はほとんど変化はなかったため、金型肌の変化もないと考えていたが、微妙な肌の変化がわずかにあるという結果となった。また図9に断面のSEM観察結果を示す。窒化処理を施すと、切削加工したままの状態に比べ、析出硬化層領域は増大し、更に最表面には1~2 μ m程度の化合物層が認められた。これはX線回折分析で認められた窒化鉄と推察される。底面だけではなく側面を観察した場合でも同様の形態が観察されていた。

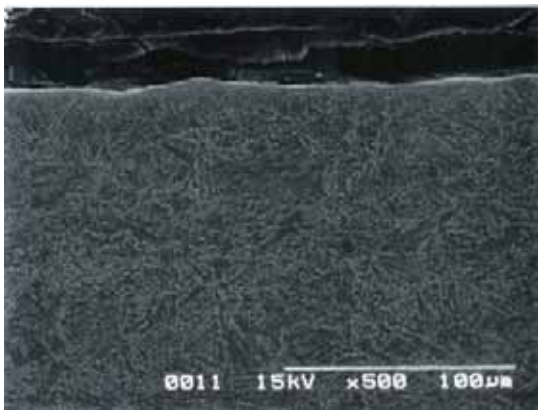


(a) No Treatment

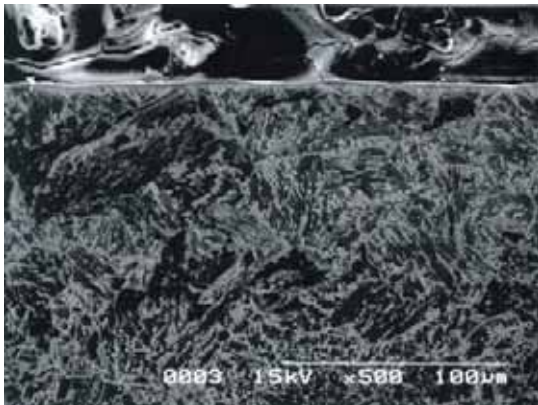


(b) Nitriding Treatment

図8 金型表面のSEM観察結果



(a) No Treatment



(b) Nitriding Treatment

図9 断面のSEM観察結果

3-7 射出成形による離型性評価（引き抜き力の測定）

図10に射出成形機（FANUC(株)製α30C）に取り付けた金型の状態を示す。4個取りのうち2個は窒化処理をしないもの、残りの2個は窒化処理をしたものである。離型性試験は所定回数の成形を行った際に、その都度フォースゲージにより引き抜き力を測定し、およそ10回の測定の平均値から求めた。成形条件は射出圧力 800kg/cm^2 、 2000kg/cm^2 の2条件で、その他の条件は一定にして行った。その結果を図11に示す。

射出圧力が 800kg/cm^2 の条件においては、引き抜き力が1.5N前後であるに対して、 2000kg/cm^2 では2N前後に増加した。これは、射出圧力の増加に伴って製品の充填率が増加した結果、引き抜き力が増加したと考えられる。

また、窒化処理を行った金型で成形したサンプルと未処理の金型で成形したサンプルで、引き抜き力を比較すると、わずかな違いはあるがほとんど変化はないという結果となった。要因として、窒化処理を行った際に表面粗さの変化はあったが、微妙な金型肌の変化があり、金型と製品の密着性が高くなったためと思われる。今回の成形条件では、製品を観察すると樹脂の未充填部分があり、必ずしも良好な成形とは至っていないように思われる。今後、成形条件および製品形状を再度検討し、未充填部分をなくすように成形し、同様の測定を行い、表面処理の有効性を検証していきたい。

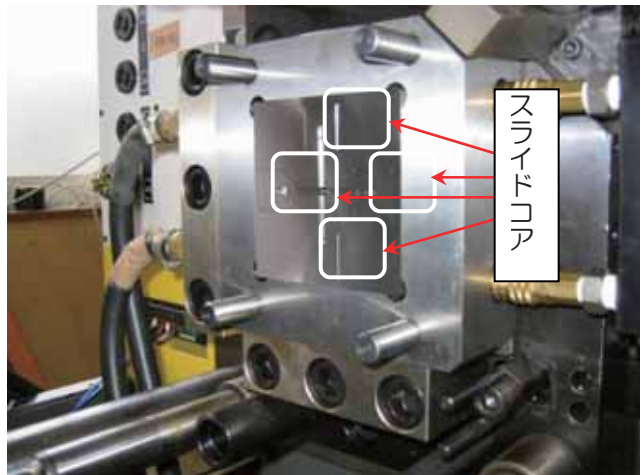


図10 射出成形機

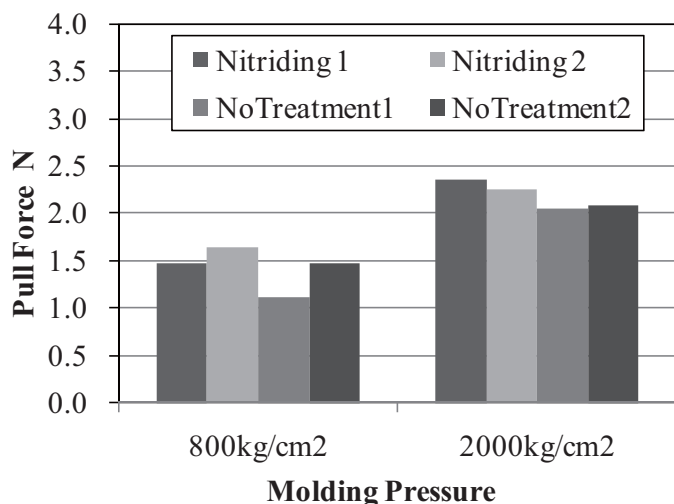


図 11 引き抜き力の測定結果



図 12 成形品

3-8 成形品の観察

得られた成型品についてガス汚染物質の付着をビデオマイクログラフ装置（オムロン(株)3D DIGITAL FINE SCOPE）を用いて観察した結果を図 13 に示す。窒化処理を行った金型で成形したサンプルと、窒化処理を行わない金型で成形したサンプルで成形回数の違いによるガス汚染物質の付着を製品底面から観察した。

成形開始から 200 ショット手前までは、ガスによる汚染物質の付着はほとんど観察されず、切削加工時のツールマークが製品にきれいに転写されていた。300 ショット前からは徐々にガス汚染物質の付着が多くなり、2000 ショットの成形では、底面全面にガス汚染物質の付着が観察された。また、窒化処理を行った金型で成形したサンプルと、未処理の金型で成形したサンプルで、ガス汚染物質の付着に大きな違いは見られなかった。

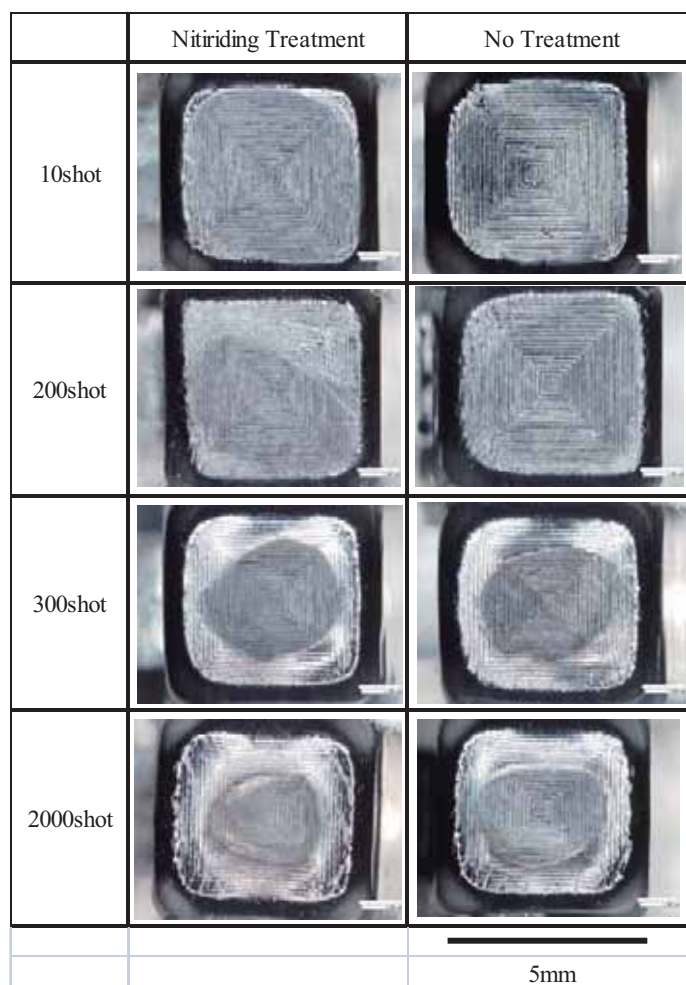


図 13 ガス汚染物質の付着の観察結果

4. 結言

成型時の取り出し不良やガス汚染物質付着などによる寸法精度の変化や外観不良を抑制することを目的とし、効果的な対応策の一つとして金型鋼への表面処理（プラズマ窒化処理）を施し、各種の検討を行った。

得られた結果を以下に示す。

- (1) 表面処理を施したことにより、表面粗さの変化はなかったが、わずかに金型肌への変化は認められた。
- (2) 表面処理を施すことにより、最表面には硬化層が形成され、その硬化層領域は表面から 120 μm 程度まで存在し、最表面の硬化層は Fe_{2.4}N の存在によるものと考えられる。
- (3) 繰り返しの射出成形を行った後の引き抜き力を測定した結果、表面処理の効果は認められなかった。繰り返しの射出成形を行うことにより、ガス汚染物質の付着が製品底面に認められたが、表面処理による効果はあまり認められなかった。