

超高張力 TRIP 鋼板のバーリングに及ぼす加工条件の影響*

長坂明彦*¹・松島拓也*²・中林克洋*³・村上俊夫*⁴

Effect of working Condition on Burring in TRIP Sheet Steels

NAGASAKA Akihiko, MATUSHIMA Takuya,
NAKABAYASHI Katsuhiro and MURAKAMI Toshio

Effect of working condition on burring of 0.2C-(1.0-2.5)Si-(1.0-2.0)Mn (mass%) ultra high-strength TRIP-aided sheet steels (TRIP steels) having different retained austenite parameters was investigated for automotive applications. Thermal drilling is a process that uses friction to produce bushings in steel tubing and sheet. The combined rotational and downward force of the thermal drilling tool bit creates friction heat. The height of the bushing was roughly 3 to 4 times the initial sheet thickness. The bushings are ideal for thread applications, as the strength of threads was significantly increased. Hole notches of 5 mm diameter were produced by mechanical punching for hole-expanding test. The stretch-flangeability was evaluated using hole-expanding ratio. The hole-expanding ratio of burring were completed in TRIP steels. The higher tensile strength, the lower hole-expanding ratio of mechanical punching. In TRIP steels, the burring resulted in much higher stretch-flangeability than the mechanical punching. We found that the burring contributed to the improvement of the tensile strength of 980 MPa class TRIP steel and the relation between the combined rotational and downward force of the burring.

キーワード：TRIP 鋼板, バーリング, 加工条件

1. 緒言

近年, 乗用車の各種メンバー類には優れたプレス成形性を有する高強度低合金 TRIP¹⁾鋼板の適用が期待されている。これまでに, 超高張力 TRIP 鋼板に関する研究報告がなされてきたが²⁻¹⁴⁾, TRIP 鋼板のバーリングに及ぼす加工条件の影響に関する報告はほとんどない¹⁵⁾。

そこで本研究では, TRIP 鋼板のバーリングの改善(ナットレス)を目的として, TRIP 鋼 (TDP 鋼) のバーリングに及ぼす加工条件の影響を調査した。

2. 実験方法

表 1 に供試鋼の化学組成を示す。供試鋼には C 量,

Si 量および Mn 量をそれぞれ変化させた TRIP 鋼板 (板厚 $t=1.2\text{mm}$) を用いる。TDP 鋼には, 2 相域焼きなまし後, オーステナンパ処理を施す。以降これらを TDP-A 鋼~TDP-G 鋼と呼ぶ。比較として, フェライト・マルテンサイト複合組織鋼 (MDP 鋼) を用いた。

図 1 にバーリング試験装置を示す。試験機には NC フライス盤を使用する。バーリングには円盤状試験片 (50mm) を用い, 直径 5mm のフロードリルを装着し, 切削送り速度 $F=5\sim 30\text{mm/min}$, 回転数 2500rpm 一行った。

また, 必要に応じ, Z 軸ロードメータ (スラスト相当) S およびスピンドルロードメータ (トルク相当) T の測定を行った。また走査型電子顕微鏡観察および硬さ測定を行った。

表 1 供試鋼の化学組成 (mass%)

steel	C	Si	Mn	P	S
TDP-A	0.21	1.51	1.00	0.015	0.0013
TDP-B	0.20	1.51	1.51	0.015	0.0011
TDP-C	0.20	1.49	1.99	0.015	0.0015
TDP-E	0.20	1.00	1.50	0.014	0.0013
TDP-F	0.18	2.00	1.50	0.015	0.0013
TDP-G	0.19	2.48	1.49	0.014	0.0013
MDP	0.14	0.21	1.74	0.013	0.0030

* 2010 年 3 月 30 日 日本鉄鋼協会第 159 回春季講演大会にて一部発表。

*1 機械工学科教授

*2 生産環境システム専攻 学生
(平成 21 年度電子制御工学科卒業)

*3 平成 21 年度機械工学科卒業

*4 株式会社 神戸製鋼所

原稿受付 2010 年 5 月 20 日

3. 実験結果および考察

表2に供試鋼の機械的特性を示す。TDP 鋼は、Si およびMn 添加量に伴い、引張強さ TS 、残留オーステナイト γ_R の初期体積率 f_{γ_0} ¹⁶⁾および γ_R 中の初期炭素濃度 C_{γ_0} ¹⁷⁾は変化するが、全伸び TEL はMDP 鋼と比べ、大きな伸びを示す。また、プレス成形性の指標である強度・延性バランス $TS \times TEL$ は、25GPa%程度と高いバランスを示す。

図2にバーリング後の試験片を示す。ここで、バーリングによる熱影響幅 d は表面の圧延方向とその直角方向の平均とした。

図3に熱影響幅 d の関係を示す。TDP-C 鋼と TDP-A 鋼において、送り速度 F が速くなるにしたがい、熱影響幅 d は小さくなる傾向を示す。また、引張強さ TS の強度レベルが相対的に高いTDP-C 鋼において、フロードリルの加工熱による熱影響幅 d は大きくなる傾向を示した。

図4にロードメータと時間 t の関係の模式図を示す。(TDP-C 鋼)。スラスト S はバーリング加工に伴い低下し、その後上昇する。この時、 F が速いほど低下、上昇に要する時間が短くなる傾向がある。一方、トルク T はスラスト S より遅れて最大となり、その後低下する。

図5に最大スラスト S_{max} および最大トルク T_{max} の関係を示す。TDP-C 鋼と TDP-A 鋼において、送り速度 F が速くなるにしたがい、ともに増加する傾向がある。ここで、TDP-C 鋼の S_{max} は $F=30\text{mm/min}$ でほぼ一定となる。

図6にスラストのピークまでの時間 t_s を示す。また、図7にバーリング全加工時間 T_B の関係を示す。TDP-C 鋼と TDP-A 鋼において、送り速度を $F=5\sim 15\text{mm/min}$ と変化させることで同様に t_s 及び T_B は短くなる。さらに、送り速度を $F=30, 50, 90\text{mm/min}$ と段階的に変化させることで t_s 及び T_B が大幅に短縮でき、短時間でのバーリングは、送り速度 F を段階的に変化させることで可能となる。

図8および図9にバーリング後の模式図およびその断面を示す。バーリング端面から0.3mm 等間隔にビッカース硬さ試験(荷重:0.98N, 保持時間:5s)を行った。ここで、 H をバーリング高さとする。図9(a)はカットモデル、図9(b)バーリング断面、図9(c)タッピング断面である。

図10にバーリング高さ H を示す。TDP 鋼において、バーリング高さ H は4.5mm 前後と板厚 t の4倍程度に成形された。また、M6のタッピングを行った場合、3~4山加工することができた(図9(a))。

図11にバーリング断面のビッカース硬さ HV 分布を示す。TDP-C 鋼において、 HV 分布より、バーリン

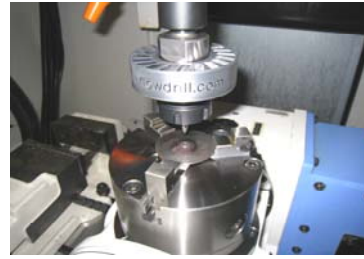


図1 バーリング試験装置

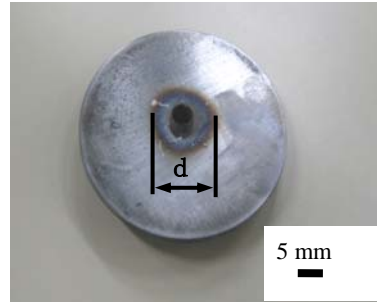


図2 バーリング後の試験片

表2 供試鋼の機械的特性

steel	TS (MPa)	TEL (%)	$TS \times TEL$ (GPa%)	f_{γ_0}	C_{γ_0} (mass%)
TDP-A	742	32.3	24.0	0.058	1.51
TDP-B	825	36.0	29.7	0.079	1.38
TDP-C	984	22.9	22.5	0.137	1.26
TDP-E	767	29.0	22.2	0.076	1.41
TDP-F	911	31.9	29.1	0.085	1.31
TDP-G	966	28.8	27.8	0.103	1.29
MDP	783	13.1	10.3	--	--

TS : tensile strength, TEL : total elongation, $TS \times TEL$: strength-ductility balance, f_{γ_0} : initial volume fraction of the retained austenite and C_{γ_0} : carbon concentration in the retained austenite.

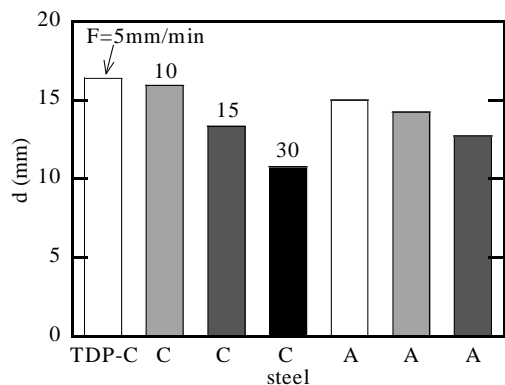


図3 熱影響幅 d の関係

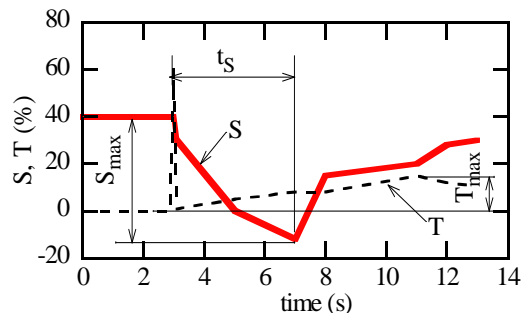


図4 スラスト S およびトルク T の模式図

グの下方にしたがい HV が高くなることで、加工硬化が大きくなるのがわかる。ここで、No.1~4 までの硬さの平均値を母材硬さ HV_0 、No.9~12 のそれを変形後の硬さ HV_{max} とし、 HV_0 と HV_{max} との差を硬さ増分 ΔHV とする。

図 12 に TDP 鋼の硬さ増分 ΔHV を示す。ここで ΔHV は、 HV_0 と HV_{max} との差とする。TDP-A~TDP-F 鋼において、Si および Mn 量の増加に伴い、 ΔHV は増加する。とくに、TDP-A~TDP-C 鋼の ΔHV の増加は $C_{\gamma 0}$ (γ_R の質) の低下が一因であると考えられる。

4. 結言

- (1) TRIP 鋼板のバーリングは、送り速度 F および引張強さ TS により熱影響幅 d に影響を及ぼした。
- (2) 短時間でのバーリングは、送り速度 F を段階的に変化させることで可能となった。

参 考 文 献

- 1) V. F. Zackay, E. R. Parker, D. Fahr and R. Busch: *Trans. Am. Soc. Met.*, **60** (1967), 252.
- 2) O. Matsumura, Y. Sakuma and H. Takechi: *Trans. Iron Steel Inst. Jpn.*, **27** (1987), 570.
- 3) K. Sugimoto, M. Kobayashi and S. Hashimoto: *Metall. Trans. A*, **23A** (1992), 3085.
- 4) K. Sugimoto, N. Usui, M. Kobayashi and S. Hashimoto: *ISIJ Int.*, **32** (1992), 1311.
- 5) K. Sugimoto, M. Misu, M. Kobayashi and H. Shirasawa: *ISIJ Int.*, **33** (1993), 775.
- 6) O. Matsumura, Y. Sakuma, Y. Ishii and J. Zhao: *ISIJ Int.*, **32** (1992), 1110.
- 7) S. Hiwatashi, M. Takahashi, T. Katayama and M. Usuda: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **35** (1994), 1109.
- 8) K. Sugimoto, M. Kobayashi, A. Nagasaka and S. Hashimoto: *ISIJ Int.*, **35** (1995), 1407.
- 9) Y. Hirose, S. Nakai, H. Fukuyama, S. Sudoh and K. Ueno: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **35** (1994), 1071.
- 10) A. Nagasaka, K. Sugimoto, M. Kobayashi and S. Hashimoto: *Tetsu-to-Hagane*, **83** (1997), 335.
- 11) A. Nagasaka, K. Sugimoto, M. Kobayashi and H. Shirasawa: *Tetsu-to-hagane*, **84** (1998), 218.
- 12) A. Nagasaka, K. Sugimoto, M. Kobayashi and S. Hashimoto: *Tetsu-to-hagane*, **85** (1999), 552.
- 13) A. Nagasaka, K. Sugimoto, A. Koyama, S. Hashimoto, T. Kashima, T. Hojo and A. Mio: *J. Jpn. Soc. Heat Treat.*, **46** (2006), 25.
- 14) A. Nagasaka, Y. Kubota, K. Sugimoto, A. Mio, T. Hojo, K. Makii, M. Kawajiri, M. Kitayama:

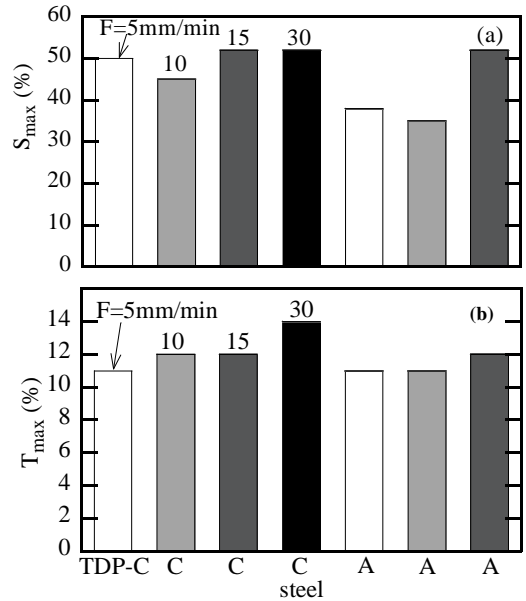


図 5 最大スラスト S_{max} および最大トルク T_{max}

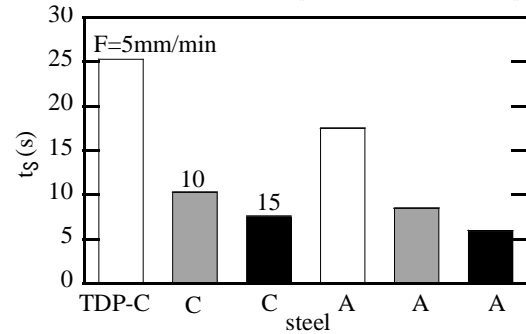


図 6 ピークまでの時間 t_s

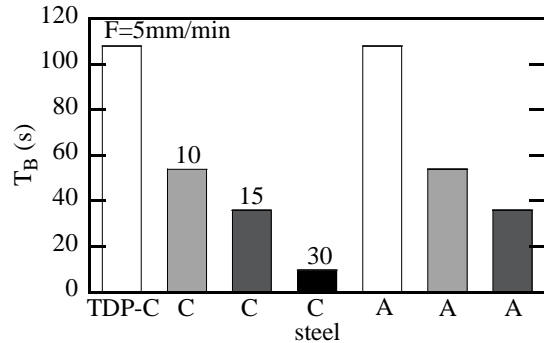


図 7 バーリング全加工時間 T_B

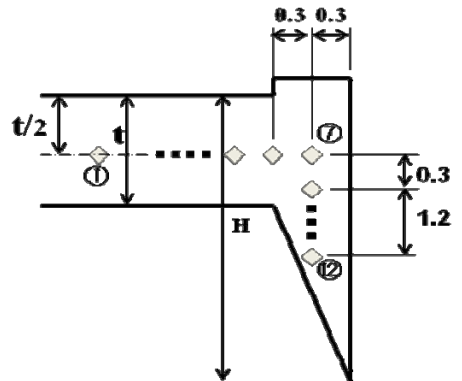


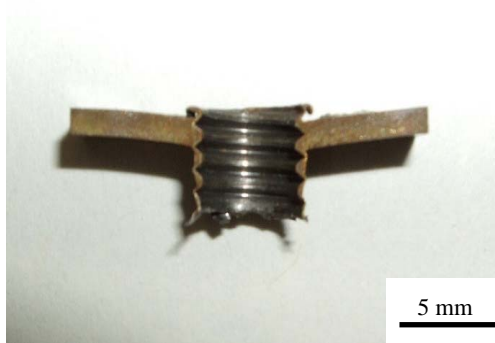
図 8 バーリング断面の模式図

. *Tetsu-to-hagane*, **94** (2008), 351.

15) A. Nagasaka, K. Sugimoto and T. Murakami: *CAMP-ISIJ*, **22** (2009), 274.

16) H. Maruyama: *J. Jpn. Soc. Heat Treat.*, **17** (1977), 198.

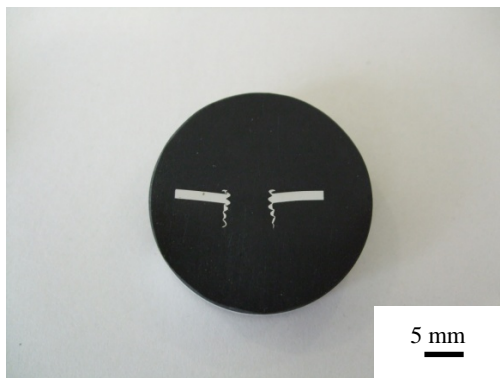
17) 西山善次: マルテンサイト変態 基本編, 丸善, 東京, (1971), 13.



(a) カットモデル



(b) ベ어링断面



(c) タッピング断面

図9 ベ어링およびタッピング後の断面

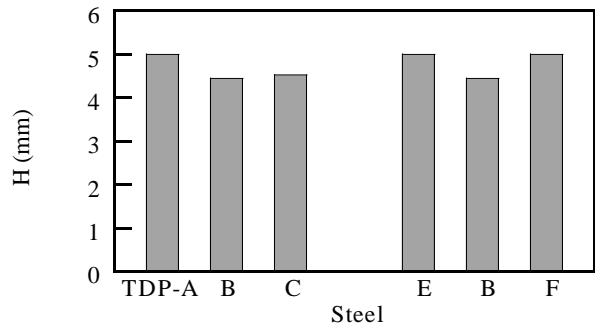


図10 ベ어링高さ H

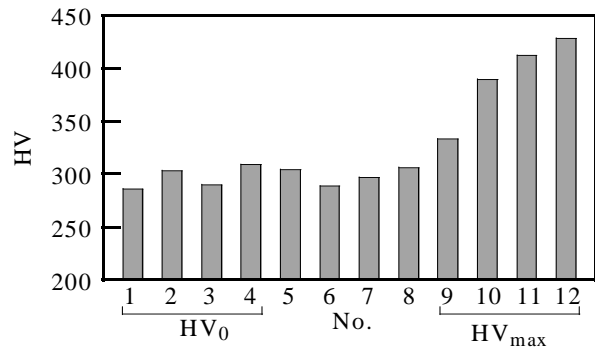


図11 ベ어링断面のビッカース硬さ HV 分布
(TDP-C 鋼, HV_0 : 母材硬さ, HV_{max} : 変形後の硬さ)

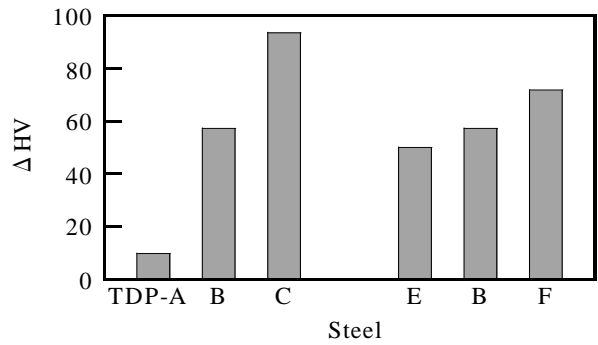


図12 TDP 鋼の硬さ増分 ΔHV