

0.2%C-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・長谷部峻*³・村上俊夫*⁴・北條智彦*⁵

Effect of Working Condition on Burring in 0.2%C-TRIP Sheet Steels

NAGASAKA Akihiko, MATSUSHIMA Takuya, HASEBE Shun,
MURAKAMI Toshio and HOJO Tomohiko

Effect of thermal drilling condition on burring of 0.2C-(1.0-2.5)Si-(1.0-2.0)Mn (mass%) ultra high strength TRIP-aided sheet steels with polygonal ferrite matrix (TDP steels) was investigated for automotive applications. The combined rotational and downward force of the thermal drilling tool bit created 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. We found that the burring and tapping contributed to the improvement of the tensile strength of 980 MPa class TDP steel.

キーワード：TRIP 鋼板，バーリング，タッピング，フロードリル

1. 緒言

近年，電気自動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 TRIP 鋼板の適用が期待されている。これまでに，TRIP 鋼板のバーリングに関する研究報告¹⁾⁻²⁾がなされてきたが，TRIP 鋼板のバーリングの影響に関する報告は十分ではない。

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，母相組織をポリゴナルフェライトとした TRIP (TDP) 鋼板のバーリング・タッピングに及ぼす加工条件の影響を調査した。

* 2011 年 3 月 5 日 日本機械学会北陸信越支部第 48 期総会・講演会にて一部発表。

*1 機械工学科教授

*2 長野工業高等専門学校専攻科学生
(平成 21 年度電子制御工学科卒業)

*3 長野工業高等専門学校専攻科学生
(平成 22 年度機械工学科卒業)

*4 株式会社 神戸製鋼所

*5 津山工業高等専門学校
原稿受付 2011 年 5 月 20 日

2. 実験方法

表 1 に供試鋼の化学組成を示す。供試鋼には冷延鋼板（板厚：1.2mm）を用いた。以後，これらの鋼を TDP-A～TDP-G 鋼と呼ぶ¹⁾。比較として，フェライト・マルテンサイト複合組織鋼（MDP 鋼）も用いた¹⁾。

図 1 にバーリング試験装置を示す。試験機には

表 1 供試鋼の化学組成 (mass%)

steel	C	Si	Mn	P	S	Al
TDP-A	0.21	1.51	1.00	0.015	0.0013	0.041
TDP-B	0.20	1.51	1.51	0.015	0.0012	0.041
TDP-C	0.20	1.49	1.99	0.015	0.0015	0.039
TDP-E	0.20	1.00	1.50	0.014	0.0013	0.038
TDP-F	0.18	2.00	1.50	0.015	0.0013	0.037
TDP-G	0.19	2.48	1.49	0.014	0.0013	0.036
MDP	0.14	0.21	1.74	0.010	0.0030	0.030

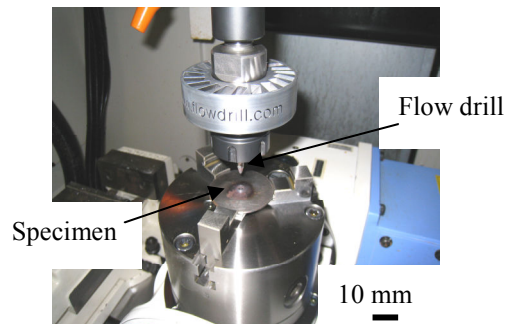


図 1 バーリング試験装置

MC を使用した。バーリングには円板状試験片（直径 50mm）を用い、M6 ロング、M6 ショート、M5 ロング（フロードリルの直径 $D=5.0, 5.3, 4.2\text{mm}$ ）の 3 種類のフロードリルを装着し、切削送り速度 $F=5\sim 10\text{mm/min}$ 、回転数 $n=2500\sim 3500\text{rpm}$ で行った。また、バーリング後、M6 のタッピング（ハンドタップ、 $F=10\sim 40\text{mm/min}$ 、 $n=10\sim 40\text{rpm}$ ）を行い、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。

3. 結果および考察

図 2 にマイクロ組織を示す。また、表 2 に供試鋼の残留オーステナイト特性³⁾⁻⁴⁾および機械的特性を示す。母材のポリゴナルフェライト (α_f) に残留オーステナイト (γ_R) とベイナイト (α_b) から成る第 2 相がネットワーク状に存在する (図 2)。

図 3 にバーリング後の外観を示す (TDP-F 鋼, $F=10\text{mm/min}$, $n=3500\text{rpm}$, $D=5.3\text{mm}$)。ここで、熱影響幅 w は試験片表面の圧延方向とその直角方向を測り、その平均値とした。

図 4 にフロードリルと熱影響幅 w の関係を示す。M6 ロングおよび M6 ショートの熱影響幅 w に大きな差は見られない。一方、M6 ロングおよび M6 ショートと M5 ロングを比較すると、M5 ロングの方が熱影響幅 w は相対的に小さくなる。これは M5 ロングが M6 ロングおよび M6 ショートと比べ、加工幅（ドリルによる加工面積）が小さいことに因ると考えられる。

図 5 にバーリングのロードメータと時間 t の関係を示す (TDP-F 鋼, $F=10\text{mm/min}$, $n=3500\text{rpm}$, $D=5.3\text{mm}$)。スラスト S はバーリングの加工時間に伴い低下し、最大スラスト S_{\max} となり、その後上昇する。一方、トルク T は S より遅れて最大トルク T_{\max} となり、その後低下する。

図 6 にフランジ部模式図を示す。 H はバーリング高さを示す。フランジ部肉厚を計測するために、試験片の裏面での肉厚を x_1 、裏面から 1mm 間隔に x_2 , x_3 とした。

図 7 にフロードリルとバーリング高さ H の関係を示す (TDP-F 鋼, $F=10\text{mm/min}$, $n=3500\text{rpm}$)。M6 ロングと比べ、M6 ショートでの H が大きくなった。これは供試鋼の板厚が 1.2mm と薄いため、テーパ形状になっている M6 ショートの方がバーリングによるフランジ部の肉厚を稼ぐことができたためと考えられる。

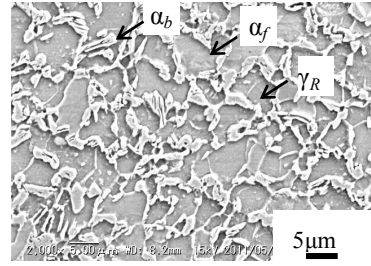


図 2 ミクロ組織 (α_f : フェライト, γ_R : 残留オーステナイト, α_b : ベイナイト)

表 2 残留オーステナイト特性および供試鋼の機械的特性

steel	$f_{\gamma 0}$	$C_{\gamma 0}$ (mass%)	TS (MPa)	TEI (%)	$TS \times TEI$ (GPa%)
TDP-A	0.058	1.51	742	32.3	24.0
TDP-B	0.090	1.38	825	36.0	29.7
TDP-C	0.137	1.26	984	22.9	22.5
TDP-E	0.076	1.41	767	29.0	22.2
TDP-F	0.085	1.31	911	31.9	29.1
TDP-G	0.103	1.29	966	28.8	27.8
MDP	-	-	783	13.1	10.3

$f_{\gamma 0}$: initial volume fraction of the retained austenite, $C_{\gamma 0}$: carbon concentration in the retained austenite, TS : tensile strength, TEI : total elongation, $TS \times TEI$: strength-ductility balance.

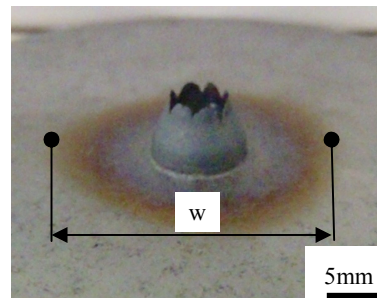


図 3 バーリング後の外観 (w : 熱影響幅)

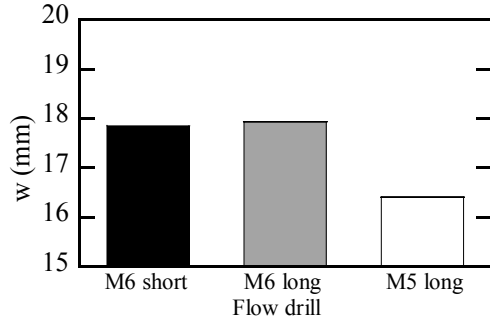


図 4 熱影響幅 w

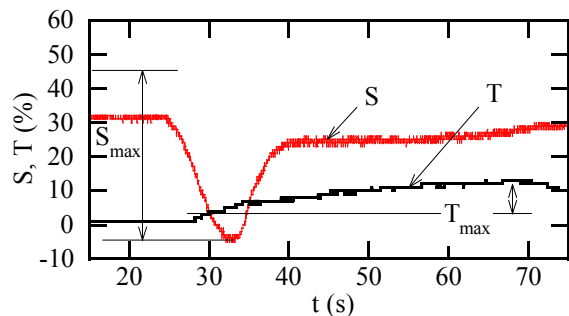


図 5 バーリングのスラスト S とトルク T (M6 ショート)

図 8 にフランジ部肉厚 x と各フロードリルの関係を示す。M6 ロングと M6 ショートと比較するとフランジ部肉厚 x_1 , x_2 においてはほとんど差が見られないが, x_3 において M6 ショートの方が多少大きくなっている。一方, M5 ロングと M6 を比較すると肉厚は x_1 , x_2 , x_3 の全てにおいて M5 は小さくなっている。これはフロードリルのドリル径による塑性流動量の違いに因ると考えられる。

図 9 にフランジ部硬さの模式図を示す。板厚の中心線上でバーリング端面から 0.3mm の場所を基点 ⑦とし, バーリング下方向と母材方向に 0.3mm 間隔で, 合計 12 箇所においてビッカース硬さ試験 (荷重: 0.98N, 保持時間: 5s) を行った。

図 10 にフロードリルのビッカース硬さ HV 分布を示す (図 10(a): M6 ショート, 図 10(b): M6 ロング, 図 10(c): M5 ロング)。各 HV 分布より, 6 番付近から HV が高くなるのがわかる。これはバーリングによる加工硬化および TRIP 効果に因ると考えられる。また, 各フロードリルを比較すると, M6 ロング, M5 ロングのフランジ部の HV が最高 350 程度なのに対し, M6 ショートは約 380 程度ある。このことから, M6 ショートが最も加工硬化および TRIP 効果の影響が大きく, フランジ部が硬くなったと考えられる。

図 11 にタッピング後の外観を示す (TDP-F 鋼, $F=10\text{mm/min}$, $n=3500\text{rpm}$, $D=5.3\text{mm}$)。また, 図 12 にカットモデルを示す (TDP-F 鋼, $F=10\text{mm/min}$, $n=3500\text{rpm}$, $D=5.3\text{mm}$)。

図 13 にタッピングのロードメータと時間 t の関係を示す (TDP-F 鋼, $F=20\text{mm/min}$, $n=20\text{rpm}$, M6 \times 1)。タッピングの S は, ほぼ一定で, T のみが図 5 と同様に T_{\max} となり, その後低下する。M6 ショート ($D=5.3\text{mm}$) のフロードリルを用いることで, MC によるバーリング後のタッピングが可能となった。なお, ハンドタップを用いることで, 3 種類のフロードリルでタッピングが可能となった。

図 14 にバーリング後の断面 SEM 写真を示す。(a) は端面を, (b) は端面から 0.3mm 内部である。端面付近には, 打抜きに発生するボイドは見られない (図 14(a))。0.3mm 内部での塑性流れが大きいことがわかる (図 14(b))。

4. 結言

- (1) TDP 鋼のバーリング後の M6 ショートのタッピングは, MC によりナットレスが可能となった。
- (2) ハンドタップを用いることで, 3 種類のフロードリルでタッピングが可能となった。

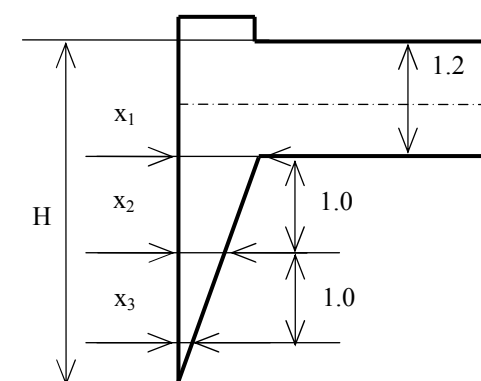


図 6 フランジ部肉厚の模式図

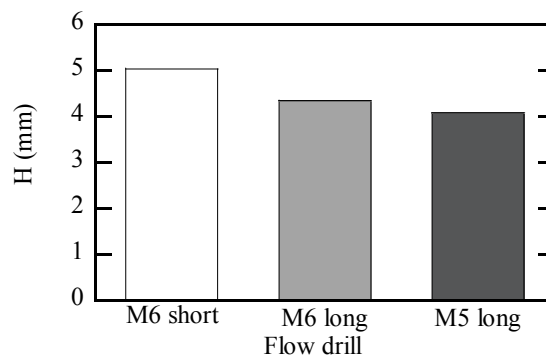


図 7 バーリング高さ H

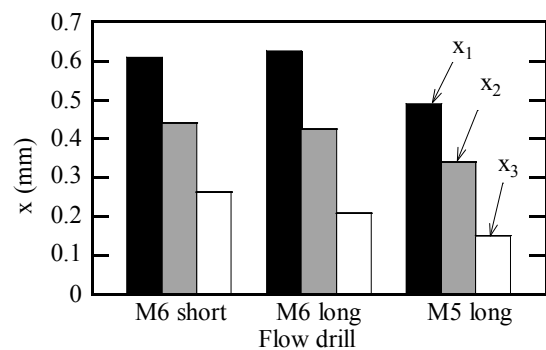


図 8 フランジ部肉厚 x

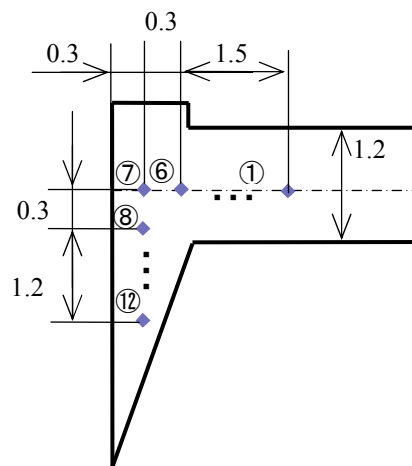


図 9 フランジ部硬さの模式図

最後に、本研究に際しご支援をいただきました天田金属機械振興財団に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) A. Nagasaka, S. Hasebe, A. Nakamura, T. Matsushima, K. Sugimoto and T. Murakami : Proc. of SHSS2010, CD-ROM, (2010).
- 2) A. NAGASAKA, Y. KUBOTA, K. SUGIMOTO, A. MIO, T. HOJO, K. MAKII, M. KAWAJIRI and M. KITAYAMA: ISIJ International, Vol. **50** (2010), 1441.
- 3) H. Maruyama: J. Jpn. Soc. Heat Treat., **17** (1977), 198.
- 4) 西山善次：マルテンサイト変態，丸善株式会社，(1979)，13.

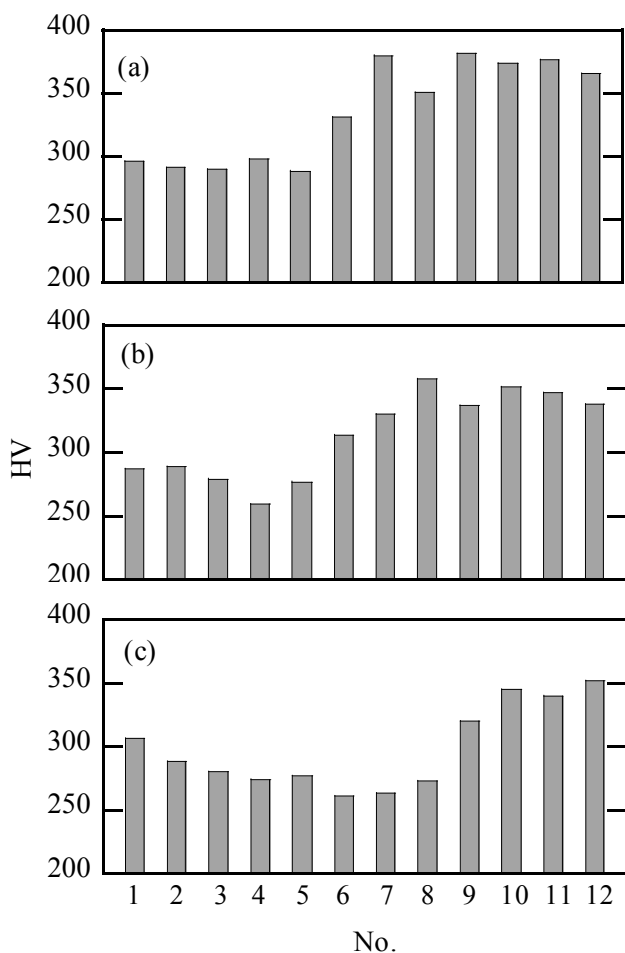


図 10 フランジ部の HV 分布
 ((a)M6 ショート, (b)M6 ロング, (c)M5 ロング)

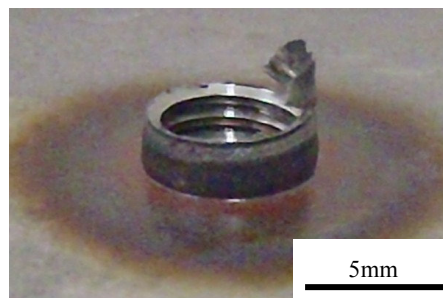


図 11 タッピング後の外観

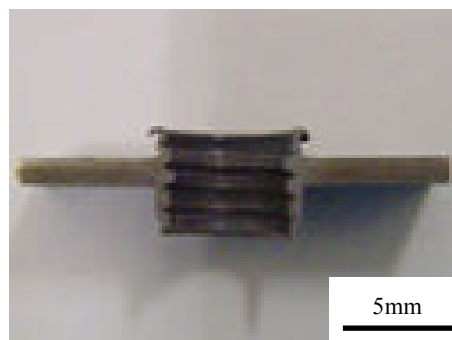


図 12 タッピングのカットモデル

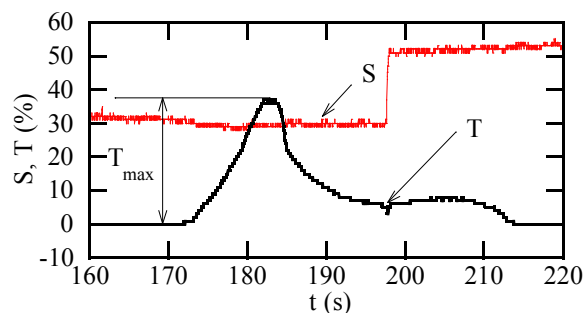


図 13 タッピングのスラスト S とトルク T (M6 ショート)

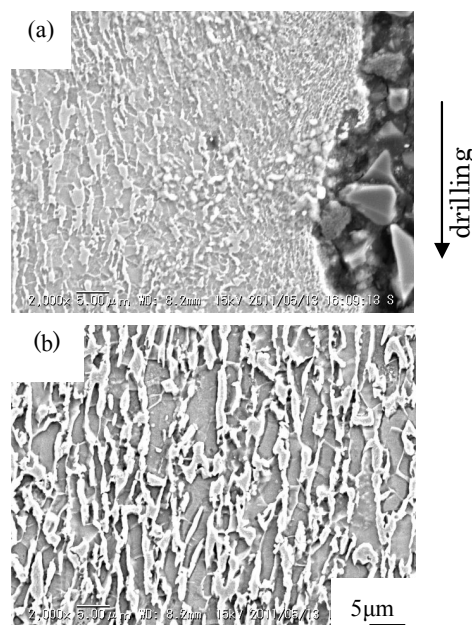


図 14 パーリング後の断面 SEM 写真
 ((a)端面, (b) 内部 0.3mm)