

技術資料

Technical Data

パンチコーティングが及ぼす穴抜き切り口性状への影響

松野 崇*¹, 佐藤浩一*¹, 上西朗弘*¹, 樋口成起*², 増田哲也*³, 清水崇行*²

Effect of Punch Coating on Pierced Surface Properties

Takashi Matsuno, Koichi Sato, Akihiro Uenishi,

Shigeki Higuchi, Tetsuya Masuda, and Takayuki Shimizu

Synopsis

This study investigated an effect of punch coating on roughness, work hardening, and residual tensile stress of pierced surface. The punch coating, HT-CERAC, produced by Daido Die & Mold Solutions was evaluated for this study. The investigation reveals the fact that the punch coating reduces roughness and residual tensile stress of a burnished surface and increases work hardening averaged on the entire pierced surface. The suppression of galling by the punch coating contributes to these effects, which are favorable for properties of fatigue and hydrogen embrittlement cracking.

1. 緒言

近年、地球温暖化防止を目的とした二酸化炭素排出規制に伴い、自動車部材の軽量化のニーズが高まっている。その一方では衝突安全性確保の観点から自動車部材に求められる強度が増しているため、軽量化と高強度化を両立するべく高張力鋼が自動車部材用の素材として普及している¹⁾。現在では自動車部材に用いられる冷間圧延鋼板の最大引張強度は 1180 MPa 級まで達する。

しかしながら、高張力鋼の成形に関してはいくつかの課題が指摘される。金型寿命の低下はそのような課題の一つであり、特にせん断加工用の金型において寿命向上が課題となっている^{2), 3)}。

せん断加工では工具のかじり発生ではなく、切り口品質の変化という観点から寿命を評価しなければならない。事実、多くの場合で切り口に生ずるかえり高さや製品の湾曲をもって工具の寿命が評価され⁴⁾⁻⁶⁾、これらの指標が許容範囲内であればかじり発生後も工具はそのまま用いられることがある。これは、かじり発生と工具寿命が

ほぼ一致する絞り・張り出し・曲げ加工とは異なる。

加えて、高張力鋼の切り口品質においてはかえりや湾曲以外にもせん断切り口の伸びフランジ性⁷⁾⁻¹¹⁾や疲労特性¹¹⁾⁻¹³⁾、耐水素脆化特性^{14), 15)}も課題となる。これらの特性には切り口の形状や硬さ、残留応力が寄与することが知られていることから、工具のコーティングの有無により、これら切り口性状がどのように変化するかを把握することが重要となる。

このような背景のもと、本報では 1180 MPa 級の超高張力鋼を対象に工具のコーティングの有無による切り口の外観、加工硬化、残留応力の違いを調査した。

2. 実験条件

2. 1 穴抜き

Fig. 1 に示す工具を用いてφ 10.0 mm の穴抜きを無潤滑・クリアランス 5 %t にて実施した。ここで %t は被加工材板厚に対する割合を示す。被加工材には 1180 MPa

2014年 4月 22日 受付

* 1 新日鐵住金(株)技術開発本部, 博士(Ph. D, Technical Research & Development Bureau, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation Co., Ltd.)

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

* 3 大同特殊鋼(株)特殊鋼製品本部(Specialty Steel Business Center, Daido Steel Co., Ltd.)

級・板厚 1.6 mm の冷延鋼板を用いた。

第一報¹⁶⁾と同じく、刃先の欠損を防ぐことを目的にパンチ刃先を面取り (C0.3 mm) した。工具鋼には大同特殊鋼(株)製のSKD11改良鋼:DC53を用いた。パンチの表面処理に関しては、無処理、大同DMソリューション(株)製のコーティングであるハイテンセラックおよび下地窒化+ハイテンセラックの3水準とした。

また、各水準のパンチごとにダイを交換した。これは、切り口性状にショット数に伴うダイ刃先の摩耗が影響することを避けるためである。

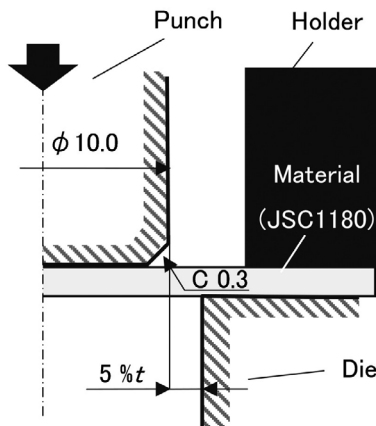


Fig. 1. Schematic image of piercing tools.

2. 2 切り口外観の観察

切り口外観の観察にあたっては、共焦点式のレーザー顕微鏡を用いた。観察部位は穴周 90°ごとに4か所とした。(Fig. 2 参照)

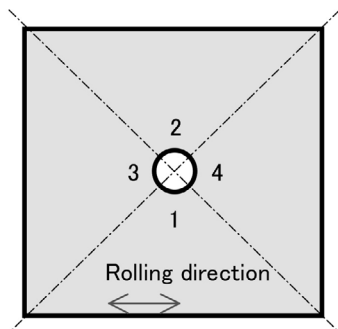


Fig. 2. Positions for observation of pierced surface.

2. 3 切り口の硬さ測定

Fig. 3 に示すように、切り口断面を切り出した後に、表面より 0.04 mm のラインに沿って硬さを測定した。硬さ測定にあたっては 25 gf の圧痕荷重とし、測定間隔を板厚方向に 0.08 mm ピッチとした。また、各パンチによる切り口につき2か所の切り口を測定した。

2. 4 切り口の残留応力測定

X線により切り口面の穴周方向と板厚方向の残留応力を測定した。測定にあたっては、X線を照射しやすくするべく穴を中央部より切断した試験片を用いた。また、ビーム径をφ 0.5 mm とし、測定位置は、板厚を4等分する3点とした。

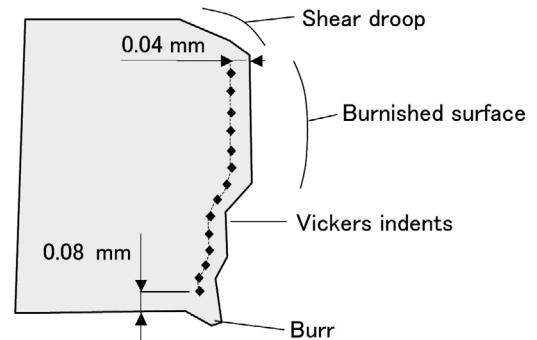


Fig. 3. Measurement positions for Vickers hardness.

3. 実験結果と考察

3. 1 切り口外観

Fig. 4 に切り口外観写真を示す。Fig. 4 よりいずれのパンチによる切り口、場所においてもせん断面と破断面の境界が大きく荒れている。せん断面に着目すれば、無処理の水準 (Fig. 4(a)) は他の水準と異なり、板厚方向に沿った濃いヘアライン模様が生じている。ここで、ヘアラインの有無は粗さとしての差に表れている。Fig. 5 は各パンチによる切り口のせん断面における粗さ (0.5 mm 長をレーザーにより測定した平均算術粗さ Ra) であるが、無処理パンチによる切り口は他のパンチの切り口に比べて7倍程度粗さが高い。

第一報¹⁶⁾の結果を参照すれば、無処理パンチによる切り口のヘアラインはかじりによる筋模様と考えることもできる。コーティングを施したパンチは表面の凹凸が小さく、かじりも抑制されるためにヘアラインが生じなかったものと推測される。

下地窒化の有無による切り口の差異としては、Fig. 4(c) の下地窒化+ハイテンセラックの水準はハイテンセラックのみの水準 (Fig. 4(b)) に比較してせん断面・破断面境界のうねりが少ないように感じられる。しかしながら、穴周における場所ごとの切り口の差異が大きいため定量的な差として見出すまでには至らない。場所ごとに切り口形状がばらついている理由は、穴抜き試験における若干の芯ずれであると考えられる。

3. 2 加工硬化

Fig. 6 に硬さ測定結果を示す。Fig. 6(a), (b), (c) を比較すれば、コーティングパンチによる切り口は明らかに硬い。Fig. 6 中、測定ごとに○と■でプロットの記号を分けており、一方、Fig. 6(a) の無処理の条件において硬さの最大値は 460 Hv 程度であるが、Fig. 6(b) と (c) のコーティングパンチの条件は 500 Hv を超えている。コーティングパンチ表面の摩擦係数が低いため、無処理パンチに比較して刃先周囲における素材の流動が大きいことがその原因であると考えられる。素材流動が大きい分だけ切り口の加工硬化が進んだものと推測される。

3. 3 残留応力

Fig. 7 に残留応力測定結果を示す。穴周方向 (Fig. 7(a)) と板厚方向 (Fig. 7(b)) の残留応力ともにコーティ

ングの有無による違いが明確である。板厚中央における板厚方向残留応力を除き、いずれの方向においても無処理の水準では板厚上部 (せん断面側) で 750 MPa 以上の引張側の残留応力となっているが、コーティング有の 2 水準では圧縮側、もしくは 100 MPa に満たない引張側の残留応力となっている。その一方、板厚下部の破断面側においてはいずれの方向、いずれの水準のパンチにおいてもほぼ同様の引張側の残留応力である。

無処理パンチにおいてせん断面側の残留応力が高い理由は、3. 1 節に述べたように工具と被加工材との間にかじりが生じたためであると考えられる。すなわち、パンチと被加工材との凝着によりせん断面上に引張力が加わったものと推測される。コーティングパンチを用いた場合は、このようなかじりに起因する引張力が低減されるために切り口は圧縮側、もしくは低い引張側の残留応力になったと考えられる。



Fig. 4. Pierced surface observed by micro-scope.

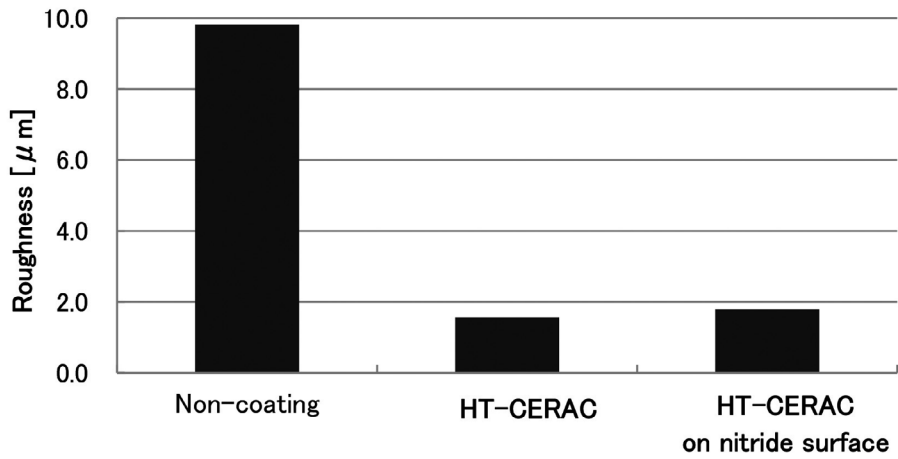
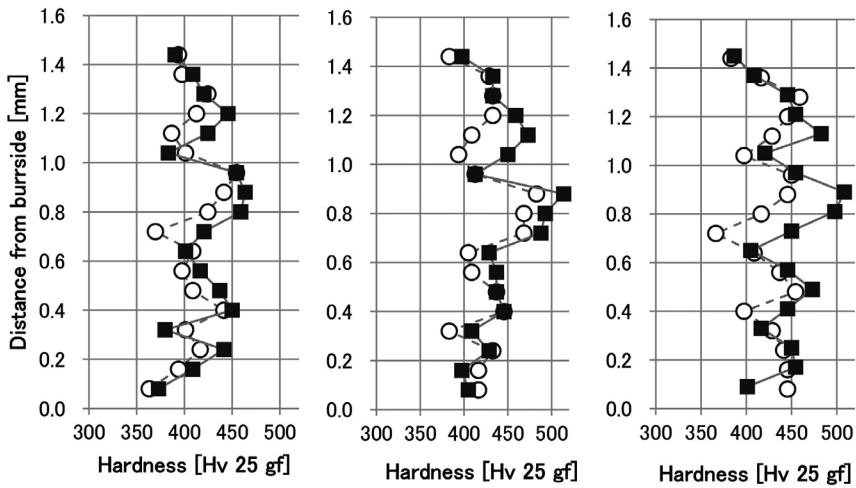


Fig. 5. Roughness(R_a) on burnished surface.



(a) Non-coating (b) HT-CERAC (c) HT-CERAC on nitride surface

Fig. 6. Hardness measurement on cross section of pierced surface.

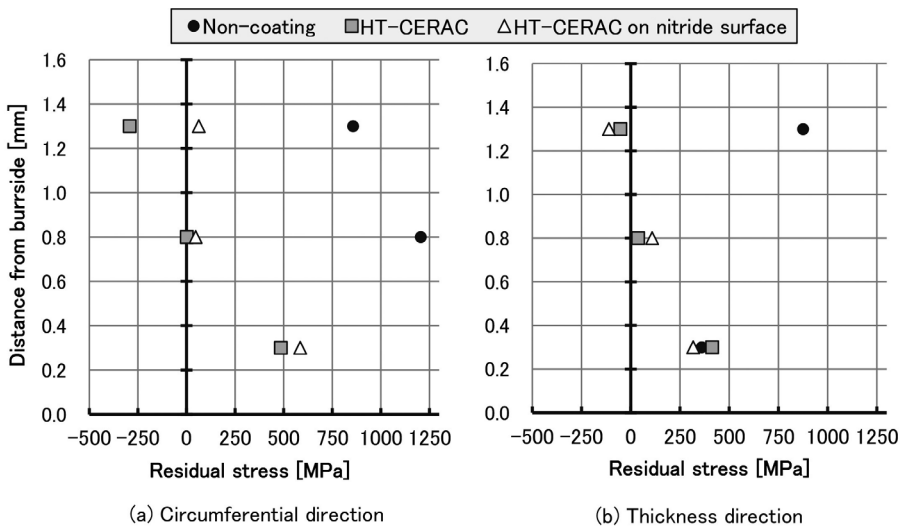


Fig. 7. Residual tensile stress on pierced surface.

4. 結 言

本報では 1180 MPa 級の高張力鋼を対象にパンチコーティングの有無による切り口性状の違いを調査した。結果、以下の知見を得た。

- (1) パンチコーティングにより切り口のせん断面粗さが低減する。コーティングにより凝着が抑制されることがその原因である。
- (2) パンチコーティングにより切り口内部の加工硬化は増す。その原因は刃先周囲の塑性流動が促されるためである。
- (3) パンチコーティングによりせん断面上の引張残留応力は低減する。破断面上の残留応力はコーティングの有無に関わらずほぼ同等である。コーティングによる凝着抑制がその原因である。

(文 献)

- 1) Keeler, S. and Ulintz, P.: *Met. Form.*, 45-5(2011), 24.
- 2) 林田康宏, 山本兼司, 坂井智哉, 伊藤芳典, 山本勝大, 吉田潤二: *素形材*, 53(2012), 10, 26.
- 3) 新宮豊久: *素形材*, 53(2012), 10, 31.
- 4) 長屋稔: *塑性と加工*, 10(1969), 99, 269.
- 5) 早川暢祥, 吉田佳典, 湯川伸樹, 石川孝司: 第 57 回塑性加工学会連合講演会講演論文集, (2006), 143.
- 6) Hernandez, J., Franco, P., Estrems, M. and Faura, F.: *J.Mate. Process. Technol.*, 180(2006), 143.
- 7) Mori, K., Abe, Y. and Suzuki, Y.: *J. Mater. Process. Technol.*, 210(2010), 653.
- 8) Konieczny, A. and Henderson, T.: *SAE Special Publications, SP-2103*(2007), 41.
- 9) Yoshida, Y., Ishiguro, T., Yukawa, N., Ishikawa, T. and Wang, Z.: *Steel Research Int.*, 81(2010), 9, 670.
- 10) 飯塚栄治, 比良隆明, 吉武明英: *塑性と加工*, 46(2005), 534, 625.
- 11) 松野崇, 栗山幸久, 村上碩哉, 米沢翔太, 金丸尚信: *塑性と加工*, 52(2011), 606, 795.
- 12) Sanchez, L., Gutierrez-Solana, F. and Pesquera, D.: *Eng. Failure Analysis*, 11(2004), 751.
- 13) 吉武明英, 塩崎毅, 大村雅紀: *自動車技術*, 33(2002), 4, 203.
- 14) Mori, K., Maeno, T. and Maruo, Y.: *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 61(2012), 255.
- 15) 小室文稔, 塩野目富夫, 室義一郎, 村川正夫, 中村健太, 古閑伸裕: *日本塑性加工学会春季講演会講演論文集*, (2012), 195.
- 16) 樋口成起, 増田哲也, 清水崇行, 松野 崇, 佐藤浩一: *電気製鋼*, 85(2014), 39.