

## 技術資料

## Technical Data

# 高張力鋼板成形用冷間金型における 表面処理品の寿命評価

樋口成起\*<sup>1</sup>, 増田哲也\*<sup>2</sup>, 清水崇行\*<sup>1</sup>, 松野 崇\*<sup>3</sup>, 佐藤浩一\*<sup>3</sup>

## Life Evaluation of Surface Treatments of Mold in Cold Working of High Strength Steel

Shigeki Higuchi, Tetsuya Masuda, Takayuki Shimizu,  
Takashi Matsuno, and Koichi Sato

### Synopsis

Recently, due to the increased amount used of high strength steel sheets, interest in the die life of cold press working is increasing. The cold working of the high strength steel sheet is often carried out with a coated die in order to prevent adhesive wear. At present, various coatings have been developed to extend the die life. So, we developed "HT-CERAC" that has higher performance than conventional PVD(Physical Vapor Deposition) process coatings.

This time, by the establishment of a piercing test using an actual machine, we evaluated the life of various coatings that are used for the cold working of high strength steel sheets. The result obtained by the piercing test is shown below.

1. The adhesive wear resistance of HT-CERAC coating is the same as the CVD(Chemical Vapor Deposition) process coating, and it is much better than the TRD(Thermal Reactive Deposition) process coating.
2. The life of HT-CERAC coated punch greatly extends by base nitriding.
3. The life of coated punches extends 6-10 times by the expansion of clearance from 3 % to 6 % of sheet thickness in the piercing.

## 1. はじめに

近年、地球温暖化防止の観点から自動車の更なる燃費向上が求められており、車体軽量化のニーズは年々高くなってきている。そのニーズ向上に伴い、340 MPa以上の引張強度を有する高張力鋼板の採用が増加している<sup>1)</sup>。その車体への採用率は、2004年の40%以降右肩上がりに今も増加しており、現在の一部車両で約60%にまで達している<sup>2), 3)</sup>。また、現在では、1200 MPa級の超高張力鋼板も開発され、更なる高強度化も試みられている。

このような高張力鋼板の採用拡大や高強度化がすすむ一方で、高張力鋼板を加工する金型の寿命向上への関心も高まっている。この高張力鋼板を加工する冷間プレス金型は、耐摩耗性やかじり防止を目的に表面処理を施してから使用されることが増えてきた<sup>4)</sup>。近年では高張力鋼板の加工用として様々な表面処理被膜が開発・商品化されており、弊社は、大同 DM ソリューション(株)、日新電機(株)、日本アイ・ティ・エフ(株)と共同で従来のPVD処理被膜よりも高性能な“ハイテンセラック”を開発した<sup>5)</sup>。ハイテンセラックは、PVDの処理条件の

2014年6月2日受付

\* 1 大同特殊鋼(株)研究開発本部 (Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

\* 2 大同特殊鋼(株)特殊鋼製品本部 (Specialty Steel Business Center, Daido Steel Co., Ltd.)

\* 3 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.)

最適化を行い面性状品質を向上することで耐かじり性を向上させた被膜であり、これまでに、弊社が確立した高張力鋼板の曲げしごき加工試験や深絞り加工試験（豊橋技術科学大学との共同研究）で他被膜との比較評価を行い、優れた耐かじり性を確認してきた<sup>5)</sup>。

今回、超高張力鋼板の実機ピアス加工を模擬した寿命評価試験方法を確立し、各種被膜（PVD, CVD, TRD 処理）の比較評価を行った。また、各種被膜の寿命と費用対効果の比較、金型寿命に及ぼす鋼板強度やクリアランスの影響を報告する。

## 2. 実験条件

### 2. 1 実機ピアス加工試験条件

Fig. 1 に冷間ピアス加工試験の模式図を示す。今回の実機試験では、加速試験として表面処理被膜を短期間で損傷させるために、金型のクリアランスを板厚の3%, 被加工材を3°傾斜させ無潤滑で試験を実施した。クリアランスの影響を評価するため、1180 MPa 級超高張力

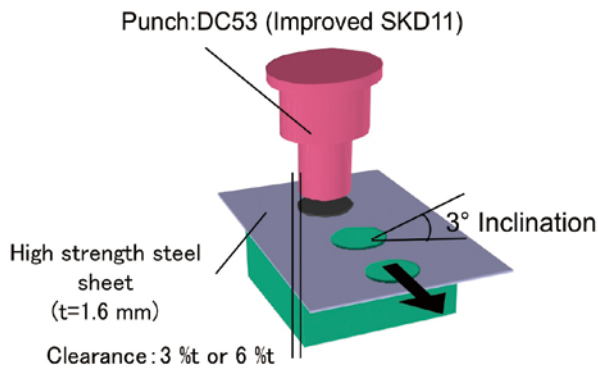


Fig. 1. Schematic diagram of pierce processing test.

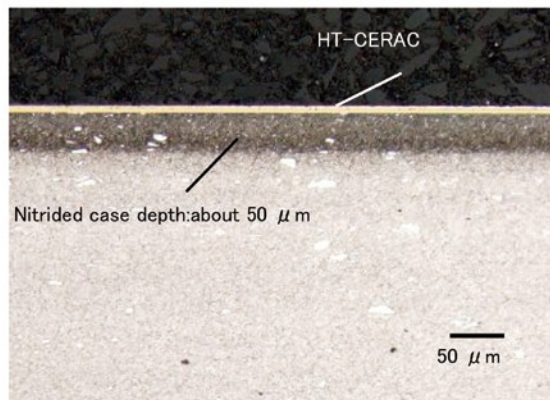


Fig. 2. Nitriding quality of nitriding+HT-CERAC.

鋼板ではクリアランス6%も実施した。なお、試験はクランク機構プレス（アイダエンジニアリング株 150 tnf ハイフレックスプレス）を用い、試験速度は50～55 spm に設定した。

被加工材には、590 MPa 級、980 MPa 級、1180 MPa 級高張力鋼板（板厚 t=1.6 mm、冷延鋼板、めっき無し、新日鐵住金株製）を用い、金型用鋼には、弊社冷間工具鋼 DC53（SKD11 改良鋼、熱処理後硬さ 62 HRC）を使用した。

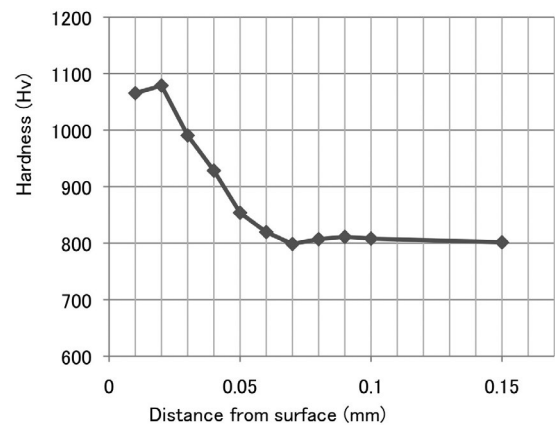
比較評価を行うパンチの表面処理は、Table 1 に示す4水準（各水準 n=2）とした。下地に窒化処理を施したハイテンセラックの評価も行った。Fig. 2 にその光学顕微鏡写真と硬さ分布測定結果を示す。窒化は、窒化化合物層が無く、最高硬さ約 1100 Hv、窒化層深さ約 50 μm とした。また、Fig. 3 に示すようなパンチ刃先の欠損（チップング）を防ぐために、パンチ刃先は面取りを行った。

試験金型は一度に8本のパンチが配置可能である。パンチは Fig. 4 に示す配置で、場所による負荷の差をなくすためにパンチ位置をおよそ 1000 ショットごとに入れ替えた。

Table 1. Test coating.

No.	Surface treatment
1	VC (TRD process):Company A
2	TiC (CVD process):Company B
3	TiN (PVD process):HT-CERAC by DDMS※
4	Nitriding+HT-CERAC

※ DDMS:Daido Die & Mold Steel Solution, Co., Ltd.



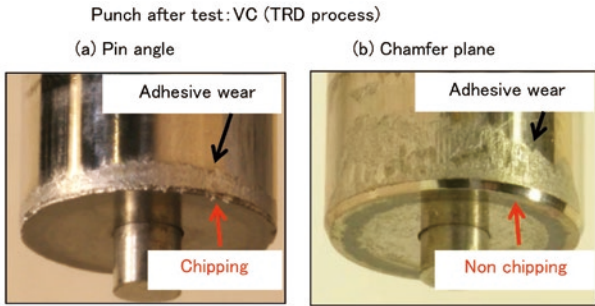


Fig. 3. Difference in damage morphology with shape of punch tip.

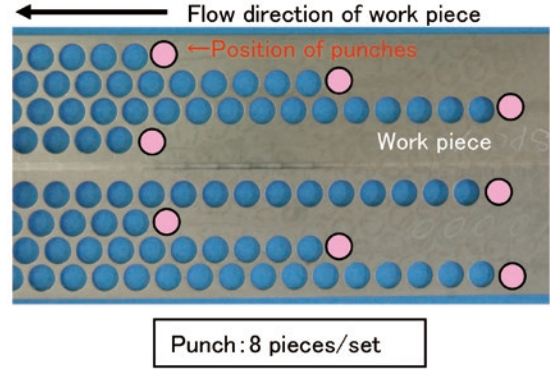


Fig. 4. Position of punches.

## 2. 2 パンチ寿命評価

試験条件を Table 2 に示す。各条件において各ショット数ごとにピアス加工した被加工材（スケルトン）のサンプリングとパンチの外観撮影を行った。Fig. 5 に示すように、サンプリングしたスケルトンのせん断面で筋状のかじり模様が認められたショット数をパンチ寿命とした。また、そのパンチ寿命評価に加え、パンチ製作費用から費用対効果（寿命ショット数 / 被膜パンチ費用）を算出し、各種被膜の比較を行った。被膜パンチ費用とは、素材、加工、熱処理を含むパンチ作製費用に被膜処理、および、前後のラップ加工の費用を含めたものである。（窒化+ハイテンセラックは窒化費用も含んでいる）

Table 2. Test conditions.

	Steel sheet type	Clearance	Max test shots	Sampling of test	Photographs of appearance
A	590 MPa (t=1.6 mm)	3 %t	20000	1, 10, 200~2000 shots: every 200 shots, 2000 shots ~: every 2000 shots	every 2000 shots
B	980 MPa (t=1.6 mm)	3 %t	10000	1, 10, 100~1000 shots: every 100, 1500, 2000 shots	every 500 shots
C	1180 MPa (t=1.6 mm)	3 %t	2000	10 shots, 1000~7000 shots: every 1000 shots	every 2000 shots
D	1180 MPa (t=1.6 mm)	6 %t	7000		

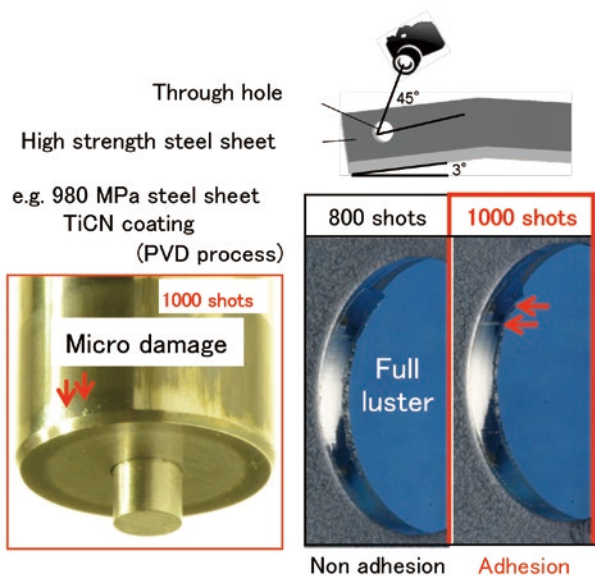


Fig. 5. Evaluation of punch life.

## 3. 実験結果

### 3. 1 パンチ損傷形態とバリ高さへの影響

Fig. 6 に CVD 処理による TiC 被膜と TRD 処理による VC 被膜を行ったパンチの各ショット数での外観を示す。両被膜共にパンチ刃先のチップングは認められず、図中の矢印部分において摺動によるかじりの発生とショット数増加によるかじりの進行（面積拡大）を確認することができた。また、Fig. 7 に各鋼板強度における 1000 ショット後のパンチ外観を示す。両被膜共に鋼板強度の向上に伴い、同一ショットでのかじり面積は大きくなる傾向が認められた。

Fig. 8 に 590 MPa 級および 980 MPa 級における各ショット数でのスケルトンのバリ高さ計測結果を示す。ショット数の増加に従いかじりは進行するが、バリ高さに増加の傾向はなく、両者の相関は認められなかった。

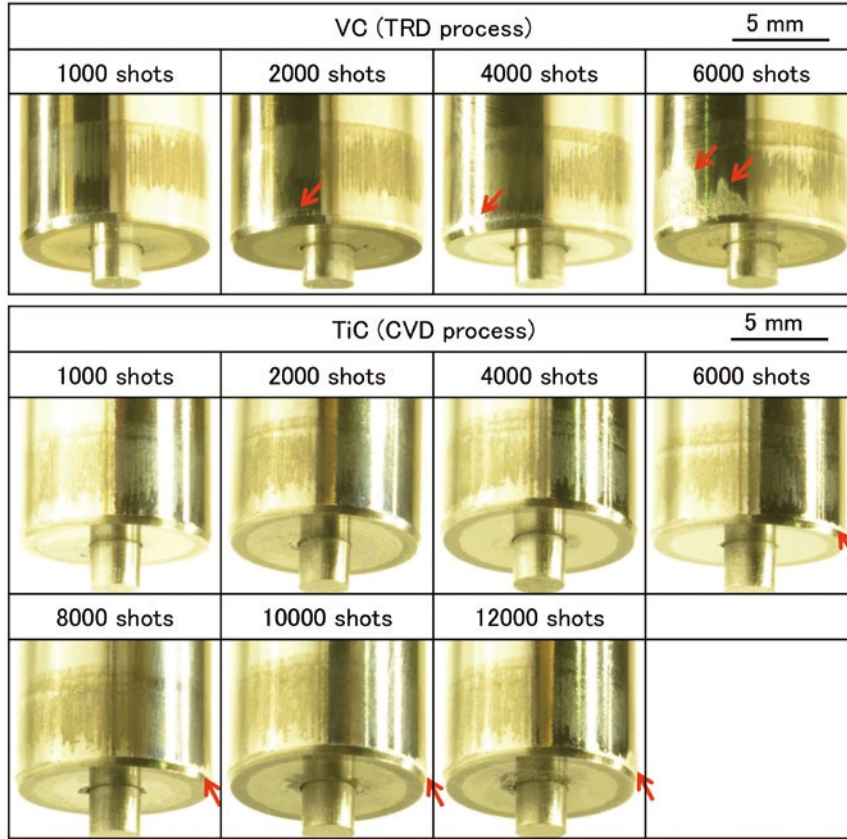


Fig. 6. Punch appearance of VC and TiC in 590 MPa high strength steel.

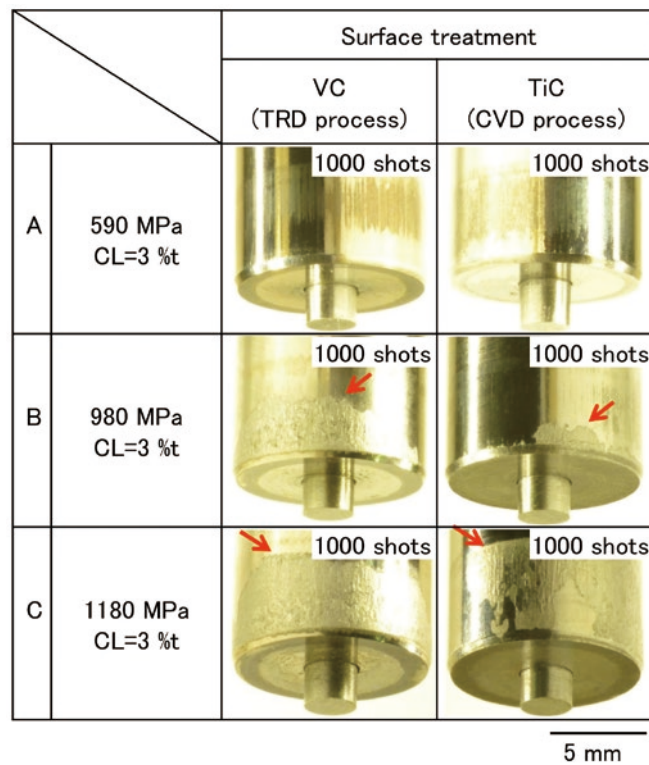


Fig. 7. Influence of steel strength on adhesive wear.

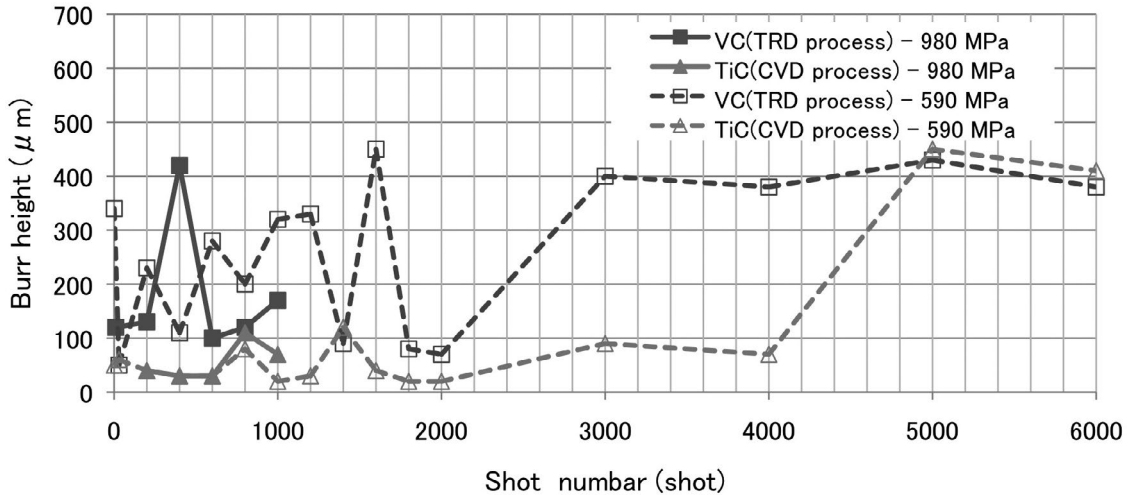


Fig. 8. Burr height of each shot in 590 MPa and 980 MPa.

### 3. 2 各種被膜のパンチ寿命と費用対効果

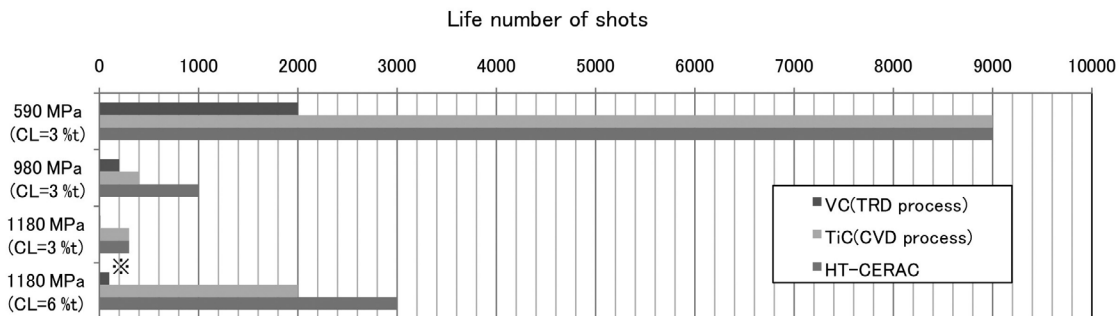
#### 3. 2. 1 ハイテンセラック, CVD処理被膜, TRD処理被膜の比較

Fig. 9 に鋼板強度やクリアランスを変更した条件での寿命評価結果を示す。ハイテンセラックと CVD 処理被膜は、いずれの鋼板強度においても TRD 処理被膜より長寿命であった。同一クリアランスでの鋼板強度の影響として、590 MPa 級対比、980 MPa 級での寿命は、ハイテンセラックで約 1/9 倍、CVD 処理被膜で約 1/22 倍となり、ハイテンセラックの方が、寿命低下割合が小さかった。また、590 MPa 級対比、1180 MPa 級では両被膜共に寿命が約 1/30 倍となり、あまりにも短かったため優劣の判断ができなかった。クリアランスの影響として、3 %t 対比、6 %t での寿命は、CVD 処理被膜で約

6 倍、ハイテンセラックで約 10 倍向上した。また、ハイテンセラックは CVD 処理被膜より約 1.5 倍長寿命であった。1180 MPa 級のクリアランスの 6 %t の結果は、両被膜共に 980 MPa 級のクリアランス 3 %t より長寿命となった。

Fig. 10 に各試験条件における各ショット数でのパンチ外観を示す。ハイテンセラックは、CVD 処理被膜や TRD 処理被膜と同様に、チッピングではなく、かじりのみが認められた。また、被膜種類に関わらず、かじりの発生場所に差は認められなかった。

Fig. 11 に TRD 処理被膜の費用対効果を 1 とした場合の各水準の費用対効果を示す。ハイテンセラックと CVD 処理被膜の費用対効果は、TRD 処理被膜対比、590 MPa 級と 980 MPa 級で 2 ~ 5 倍程度であるのに対し、1180 MPa 級では 20 倍以上であった。このことから、ハイテンセラックや CVD 処理被膜は、TRD 処理被膜に比べて、より強度が高い超高張力鋼などの加工でコストメリットが出せる可能性が高いと考えられる。



※Life of punch is between 10 shots to 1000 shots.  
This time, life of punch is 100 shots from damage condition of punch.

Fig. 9. Punch life comparison of HT-CERAC.

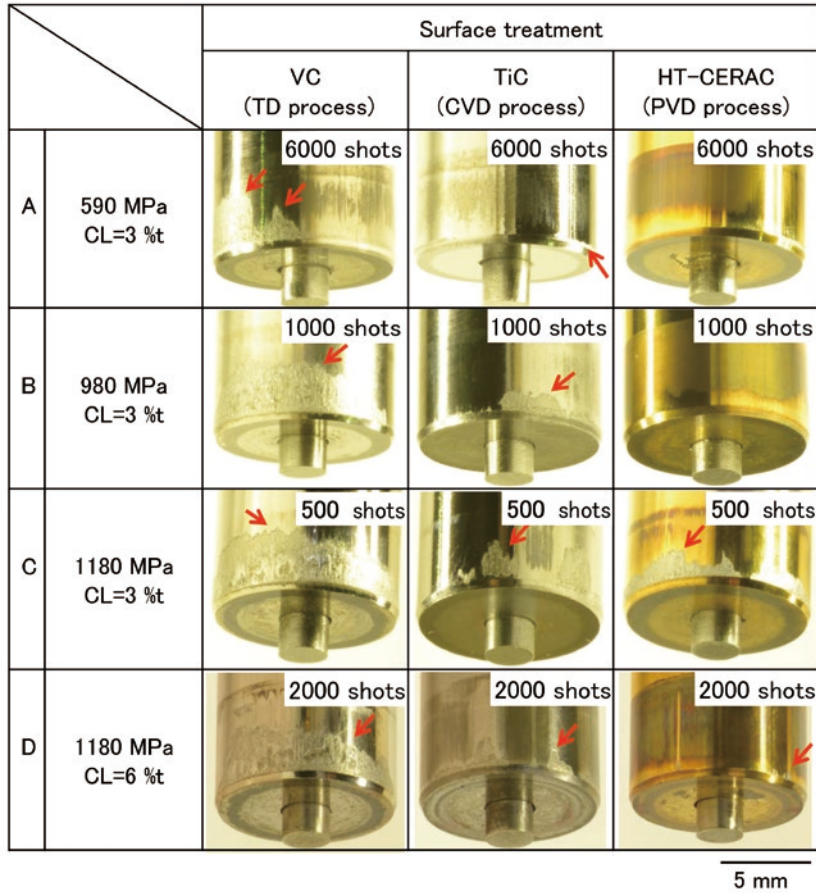


Fig. 10. Punch appearance comparison of HT-CERAC.

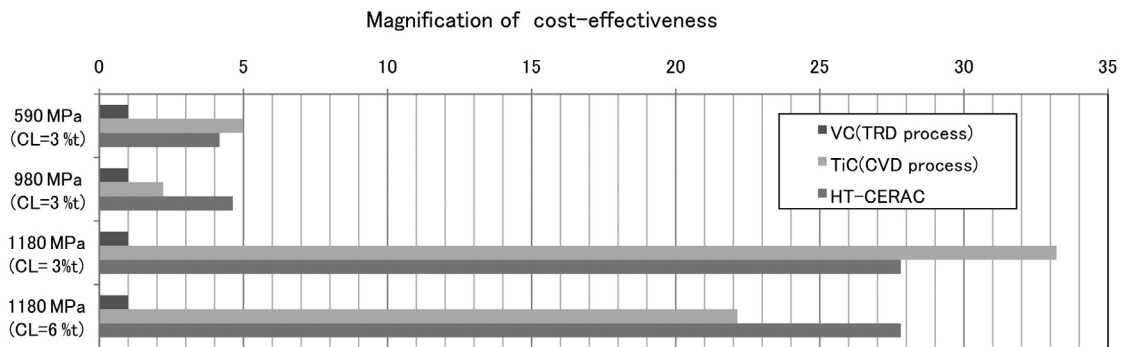


Fig. 11. Cost-effectiveness comparison of HT-CERAC coated punch.  
(Cost-effectiveness of VC coated punch = 1)

### 3. 2. 2 下地窒化の影響

PVDの被膜処理中の温度は、1000℃以上で処理を行うCVD処理やTRD処理に対し、500℃以下と低温のため、窒化特性を損なわず被膜処理が可能である。そこで、下地に窒化処理を施したハイテンセラックの寿命評価を行った。その結果をFig. 12に示す。下地窒化を実

施したハイテンセラックの寿命は窒化により1.5～3倍に向上し、ハイテンセラックと同等寿命であったCVD処理被膜対比、全ての試験条件で長寿命となった。同一クリアランスでの鋼板強度の影響として、590MPa級対比、980MPa級での寿命が約1/5倍、1180MPa級で約1/40倍となった。下地窒化により寿命は向上したが、鋼板強度の向上に伴う寿命低下割合は、下地窒化無しと

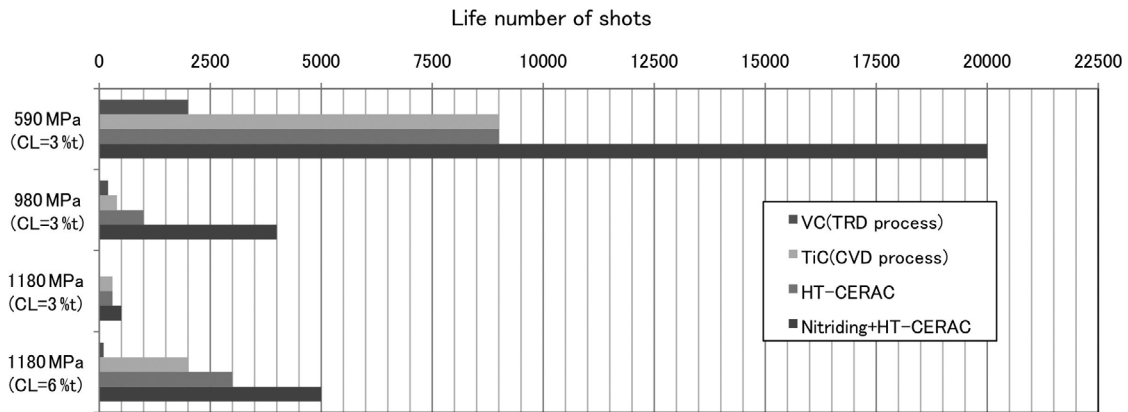


Fig. 12. Punch life comparison of nitriding+HT-CERAC.

同様な傾向を示した。クリアランスの影響として、下地窒化を実施したハイテンセラックにおいても下地窒化無しと同様にクリアランス 3 %t 対比、6 %t で寿命が約 10 倍向上した。

Fig.13 に各試験条件における各ショット数でのパンチ外観を示す。下地窒化の有無に関わらず、かじりの発生場所に大きな差は認められなかった。

Fig. 14 に TRD 処理被膜の費用対効果を 1 とした場合の各水準の費用対効果を示す。下地窒化を実施したハイテンセラックの費用対効果は、TRD 処理被膜対比、590 MPa 級で約 8 倍、980 MPa 級で約 16 倍、1180 MPa 級で約 40 倍と、鋼板強度の向上に伴い増加した。これらの値は、下地窒化無しハイテンセラック対比、全ての鋼板強度において優れている。

また、Fig. 15 に各水準において 590 MPa 級での TRD 処理被膜の費用対効果を 1 として比較し直した結果を示す。下地窒化を実施したハイテンセラックの 980 MPa 級や 1180 MPa 級（クリアランス 6 %t）の費用対効果は、TRD 処理被膜の 590 MPa 級におけるそれよりも優れていることが分かった。これらの結果から、下地窒化有りハイテンセラックの適用およびクリアランスの調整次第で、980 MPa 級や 1180 MPa 級の超高張力鋼板も、TRD 処理被膜での 590 MPa 級の加工と同程度のコストで冷間加工が可能と考えられる。

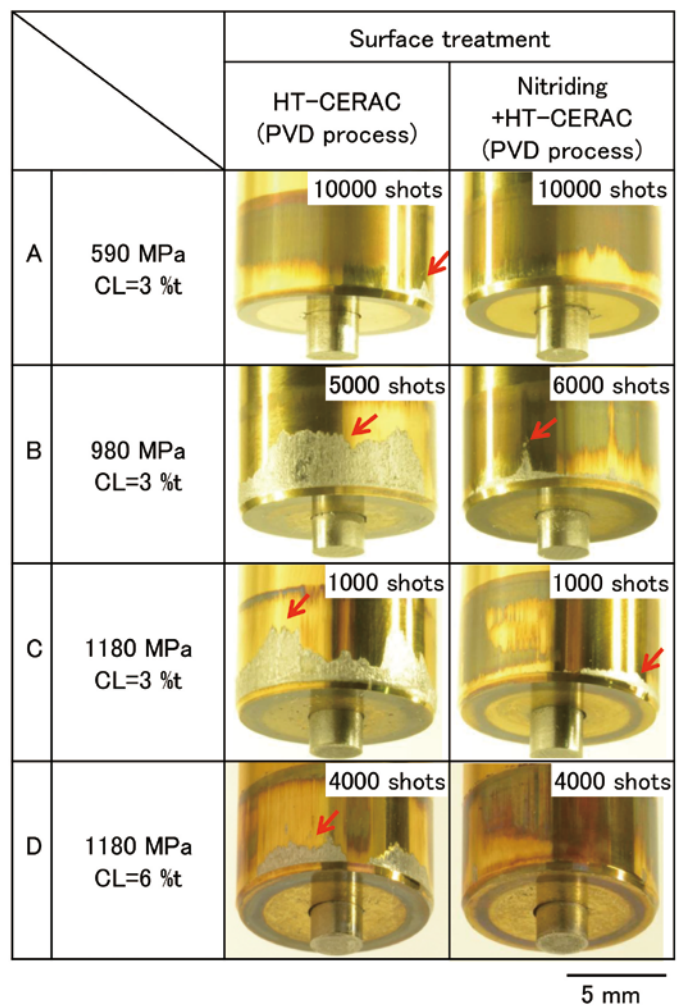


Fig. 13. Punch appearance comparison of nitriding+HT-CERAC.

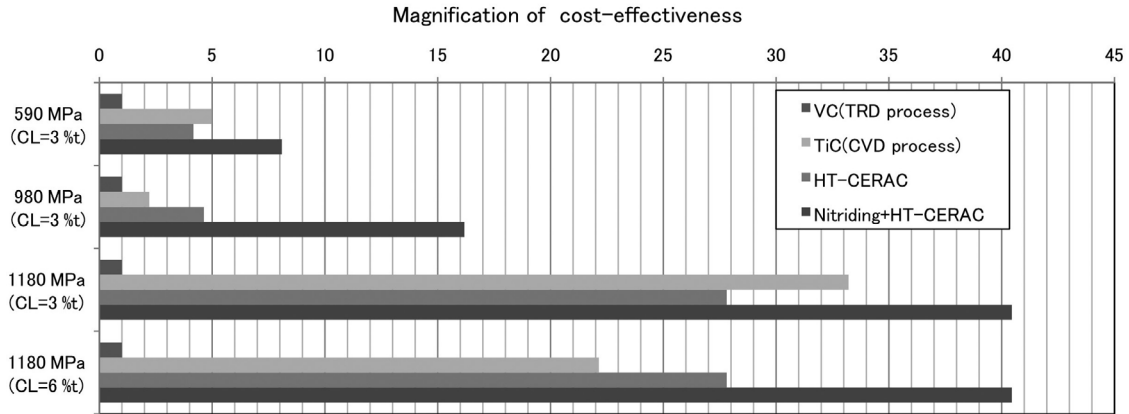


Fig. 14. Cost-effectiveness comparison of nitriding+HT-CERAC coated punch.  
(Cost-effectiveness of VC coated punch = 1)

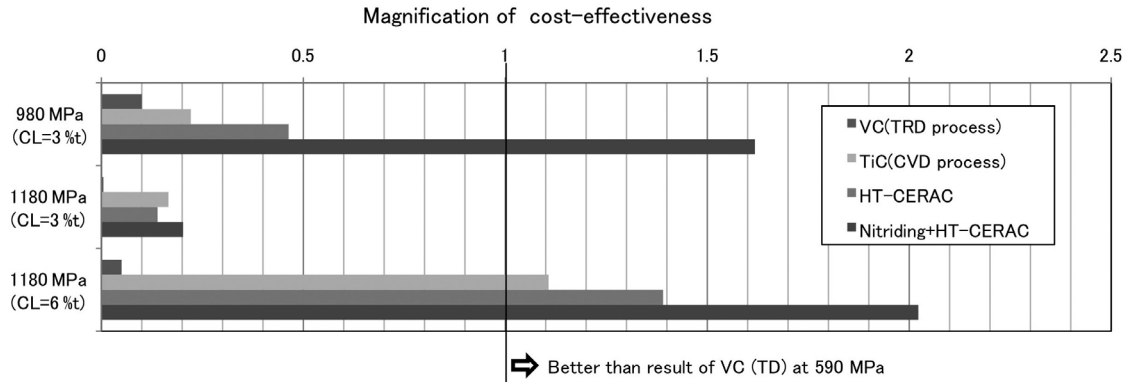


Fig. 15. Cost-effectiveness comparison of HT-CERAC coated punch.  
(Cost-effectiveness of VC coated punch in 590 MPa high strength steel = 1)

## 4. まとめ

実機を用いたピアス加工試験を実施し、摺動によるかじりでの被膜寿命評価方法を確立した。

- ・クリアランスの3%tから6%tへの拡大により、パンチ寿命が6～10倍向上した。
- ・PVD処理被膜のハイテンセラックは、今回の高張力鋼板のピアス加工試験においてCVD処理被膜と同等、またTRD処理被膜以上の耐かじり性を持つことがわかった。
- ・ハイテンセラックに下地窒化を施すと、パンチ寿命が1.5～3倍向上し、クリアランスの調整次第で980 MPa級や1180 MPa級の超高張力鋼板も、TRD処理被膜での590 MPa級の加工と同程度のコストで冷間加工が可能と考えられる。

(文献)

- 1) 山崎一正: 塑性と加工, 46(2005), 565.
- 2) 杉山隆司: 塑性と加工, 46(2005), 552.
- 3) 日経 Automotive Technology, 日経 BP社, 11(2012), 44.
- 4) 野坂潤一郎: 素形材, 51(2010), 8, 13.
- 5) 増田哲也, 北川利博: 型技術者会議 2013講演論文集, (2013), 100.