

プラズマ窒化法によりオーステナイト系ステンレス鋼表面に形成した S 相の X 線残留応力および S 相上に成膜した DLC 膜の残留応力測定

三木 靖浩^{*1)}, 西本 明生^{*2)}, 民谷 隆純^{*3)}

X-Ray Residual Stress in the S-Phase of Stainless Steel Nitrided by a Plasma Nitriding Method and Residual Stress Measurement of a DLC Film Deposited on the S-Phase

MIKI yasuhiko^{*1)}, NISHIMOTO akio^{*2)}, TAMIYA takazumi^{*3)}

Abstract

The S-phases (γ_N -phases) of JIS standard SUS304 steel were prepared via direct current plasma nitriding (DCPN) and active screen plasma nitriding (ASPN). Furthermore, diamond-like carbon (DLC) films were prepared on these S-phases via plasma chemical vapor deposition (PCVD). The nitride layers included the γ' -Fe₄N phase. The X-ray stress constant K for the nitride layers was evaluated using γ_N (200) + γ' -Fe₄N (200) diffraction with CrK α characteristic X-rays. The γ_N (200) + γ' -Fe₄N (200) diffraction angles 2θ of the DCPN and ASPN powders were 73.49° and 72.98°, respectively. The X-ray stress constants, $E / (1 + \nu)$, of the γ_N (200) + γ' -Fe₄N (200) phase that was nitrided using DCPN and ASPN were 202 and 153 GPa, respectively, and the K values of the same were -2365 and -1809 MPa/deg, respectively. The X-ray residual stresses of these S-phases were approximately -5.3 and -2.6 GPa, respectively. However, Raman microprobe spectroscopy was used for residual stress measurements of the DLC films that were deposited on these S-phases. The Raman spectra of the DLC films were classified into the disorder peak D' at 1150 cm⁻¹, the D peak, and the graphite peak G. The residual stresses in the DLC films on these S-phases, as estimated from the Raman shift of the G peak for DCPN and ASPN, were -3.2 and -3.0 GPa, respectively. The hardness of the DLC films was determined using the nanoindentation method, and the films were found to exhibit high levels of hardness. The increase in compressive residual stresses in the DLC films could have caused the decrease in contact areas and the indentation depth of the indenter, which may have increased the value of Young's modulus and hardness of the DLC films.

要約

直流プラズマ窒化法(DCPN)法およびアクティブスクリーンプラズマ窒化法(ASPN)法を用いて、オーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)基板上に S 相(拡散オーステナイト γ_N 相)を形成した。さらに、プラズマ CVD 法を用いて、S 相上にダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜を成膜した。窒化層は S 相の他に γ' -Fe₄N 相が混在し、その γ' -Fe₄N(200)回折線が重複した γ_N (200)回折線を用いて CrK α 線により S 相の X 線の弾性定数および X 線応力定数 K を測定した。その結果、DCPN 法で形成した S 相の X 線の弾性定数および X 線応力定数 K は、それぞれ 202 GPa および -2365 MPa/deg であった。一方、ASPN 法で形成した S 相の X 線の弾性定数および X 線応力定数 K は、それぞれ 153 GPa および -1809 MPa/deg であった。また、得られた X 線の弾性定数を基に S 相に存在する残留応力を求めた結果、DCPN 法および ASPN 法で形成した S 相に存在する X 線残留応力値は、それぞれ約 -5.3 GPa および約 -2.6 GPa であった。DLC 膜中の sp³/sp² 結合比および水素含有量を用いてフォノン変形ポテンシャル定数を見積もることによって、DLC 膜中の G ピークのラマンシフトと DLC 膜に存在する残留応力との関係式を得た。DCPN 法および ASPN 法により形成した S 相に存在する圧縮の残留応力値には大きな差が確認できたが、それらの S 相上に成膜した DLC 膜は、約 -3 GPa のほぼ同じ残留応力値を示した。S 相に含有される γ' -Fe₄N 相の増大が S 相の圧縮残留応力の増大に寄与していると推察できるが、S 相や DLC 膜に存在している大きな圧縮の残留応力が硬さ試験時の圧子の押し込み深さや接触面積の減少を引き起こし、S 相や DLC 膜のヤング率や硬さの増大を与えていると考えられた。