

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 6日現在

機関番号：24201
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22560087
 研究課題名（和文） 成膜後レーザ焼入れ処理によるセラミックス被覆鋼の高機能化に関する研究

研究課題名（英文） Strengthening of ceramic coated steel by laser quenching

研究代表者

田邊 裕貴（TANABE HIROTAKA）
 滋賀県立大学・工学部・准教授
 研究者番号：00275174

研究成果の概要（和文）：セラミックス被覆鋼の高機能化を図るための新表面改質手法として「成膜後レーザ焼入れ処理」を提案し、本手法の効果を調べた。各種セラミックス被覆鋼に対して本処理を適用し、薄膜の割れ、はく離等の損傷、硬さや破壊強度の低下を生じることなく基材の焼入れが可能で、密着強度と耐摩耗性を向上させることができることを明らかにした。また、本処理を応用した実部品を試作し、本手法の実用化の可能性についても検討した。

研究成果の概要（英文）：A new surface modification technique, to obtain high performance ceramic coated steel, named "Laser quenching after coating" was proposed, and the effects of this technique were investigated. It was found that laser quenching after coating can effectively improve the adhesive strength, wear resistance and substrate hardness without a surface damage and any detrimental effect on the film hardness, fracture strength of the ceramic-coated specimens. Moreover, the real parts were made through this process, and the possibility of utilization of this technique was also examined.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械材料・材料力学

キーワード：機械材料・材料科学、長寿命化、トライボロジー、表面改質

1. 研究開始当初の背景

通常、CVDやPVDにより鋼基材にセラミックス薄膜を成膜する場合、まず鋼基材に対して焼入れ焼戻し処理を行い、その後、成膜処理がなされる。ここで、成膜温度が、基材の焼戻し温度以上となる場合には、成膜時に基材が軟化するため、基材に使用可能な鋼種や成膜条件には制限がある。研究代表者が提案した「成膜後基材焼入れ処理」は、従来の熱処

理と成膜の順序を根本的に見直し、成膜後に基材の熱処理を行う方法である。本処理では、成膜後に焼入れ焼戻し処理を行うため、焼戻し温度と成膜温度の大小関係に関わらず、高い基材硬さを得ることができ、基材鋼種や成膜条件の選択の自由度を高めることが可能である。さらに、成膜後基材焼入れ処理により、薄膜の密着強度や耐摩耗性向上、セラミックス被覆鋼の疲労強度の向上といった効

果が得られることを明らかにした。

上記の通り、多くの優れた特徴を有し、新たな表面改質手法として期待される成膜後基材焼入れ処理であるが、①寸法精度が要求される部品等への適用が困難な点、②加熱時の熱影響により薄膜の硬さが低下する点、の克服すべき問題があった。成膜後に熱処理を行う本手法では、熱処理時に残留ひずみが生じて、被覆面の仕上げ加工はできない。そのため、実現し得る寸法精度に限界があり、①への対策は、特に重要な課題であった。一方、レーザー焼入れは、試料の必要な部分にのみ焼入れ処理を施すことが可能であり、焼入れによる残留ひずみを極めて小さく抑えることができる。また、炉焼入れのように試料全体を加熱する必要がないため入熱量が小さく、処理時の熱影響を最小限に抑えることもできる。これらの特徴を上手く活用すれば、先の2つの問題を解決し、成膜後基材焼入れ処理の有用性をさらに高めることが可能であると期待できた。

2. 研究の目的

本研究課題は、研究代表者が提案した、セラミックス被覆鋼の高機能化手法である「成膜後基材焼入れ処理」の技術的確立と有効性の検証、および本処理の応用による高機能部品の実用化を全体構想とする研究の一端を担うものである。本研究課題では、従来の成膜後基材焼入れ処理において実施してきた電気炉による「炉焼入れ」の代わりに「レーザー焼入れ」を採用した新しい表面改質手法を提案し、本手法によりセラミックス被覆鋼のさらなる高機能化を実現することを具体的な目的とする。

3. 研究の方法

薄膜にはTiAlN, CrN, CrAlNの3種類を用いた。基材には炭素工具鋼、炭素鋼、クロムモリブデン鋼を使用した。基材の形状は、68 mm × 62 mm × 10 mmの平板形状とした。図1は試験片の外観写真である。レーザー焼入れには、Nd-YAGレーザーおよび高出力半導体レーザーを使用した。Nd-YAGレーザーは、マシニングセンタの主軸に取り付けたレンズユニットに光ファイバで導光し、試料表面に照射した。高出力半導体レーザーは、ロボットアームに取り付けたガルバノスキャナユニットに光ファイバで導光し、試料表面に照射した。

それぞれのセラミックス被覆鋼に対して種々の条件でレーザー焼入れ処理を実施し、薄膜の割れやはく離の有無、残留ひずみ量、基材硬さ、膜硬さ、薄膜の密着強度、破壊強度、耐摩耗性を調べた。また、本手法の実用性を調べるために、トムソン刃やカムなどの実製品に本処理を応用し、作製した試作品の各種特性を調べた。

なお、本報告書では、高出力半導体レーザーでの結果を中心に報告する。



図1 試験片

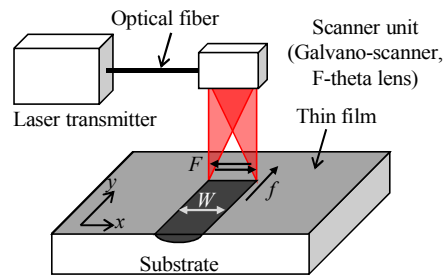


図2 レーザ熱処理システム模式図

4. 研究成果

(1) セラミックス被覆鋼のレーザー焼入れ性

まず、スポット径3mmのレーザーを、図2のようにx軸方向に幅 $W=10\text{mm}$ 、スキャン速度 $F=2000\text{mm/s}$ で往復させながら、y軸方向に送り速度 $f=4\text{mm/s}$ で50mm移動させて、試験片表面の10mm×50mmの領域にレーザー照射を行い、レーザー出力の変化に伴う各試験片の表面の変化を調べた。レーザー照射条件は表1に示した。なお、レーザー出力は、ガルバノスキャナの損傷防止のため最大800Wまでとした。

表1 レーザ照射条件

Scanning speed for x direction, F (mm/s)	2000
Scanning speed for y direction, f (mm/s)	4
Scanning width, W (mm)	10
Scanning length, L (mm)	50
Spot size of laser beam, S_d (mm)	3

図3はCrAlN, TiAlN, CrNの各被覆試験片(SK105基材)におけるレーザー照射結果である。図中のType Aは、基材は焼入れ硬化されたものの、溶融やはく離などの損傷が確認された表面を、Type Cは、基材の焼入れ硬化、表面損傷がともに認められなかった表面を、Type Bは、表面損傷を生じることなく基材が焼入れ硬化された表面をそれぞれ表している。図3のように、まず、いずれの被覆鋼でも、Type Bの表面を得ることができた。ただし、Type Bの表面が得られるレーザー出力の条

件範囲は薄膜の種類によって異なった。

このような相違の原因を調べるために、積分球を用いて各薄膜の吸収率を測定し、これらとレーザー出力の積により入熱量を求め、図3の結果を再整理した。その結果が図4である。同図より、Type B が得られる入熱量の下限値は、被覆鋼の種類によらずほぼ一定であることがわかる。基材の鋼種やその形状によってレーザー焼入れに必要な入熱量が定まり、その値が Type B を得られる入熱量の下限値となると考えられた。また、その入熱量を得るために必要となるレーザー出力は、薄膜の吸収率によって変化するため、Type B が得られるレーザー出力の下限値は、図3のように薄膜の種類によって大きく異なると考えられた。

一方、Type B が得られる入熱量の上限値は、図4に示すように、被覆鋼によって大きく異

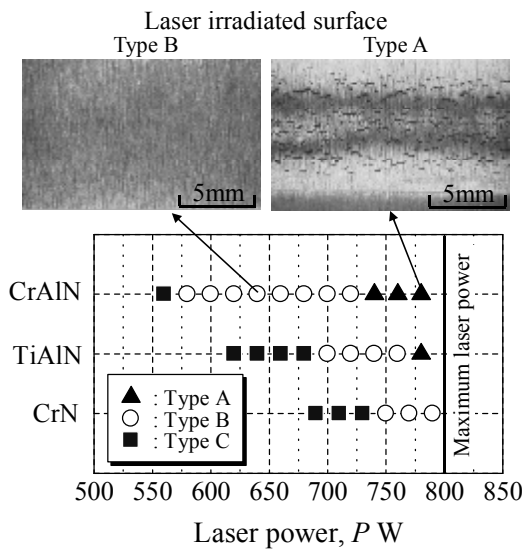


図3 レーザ照射実験結果
(レーザー出力による整理)

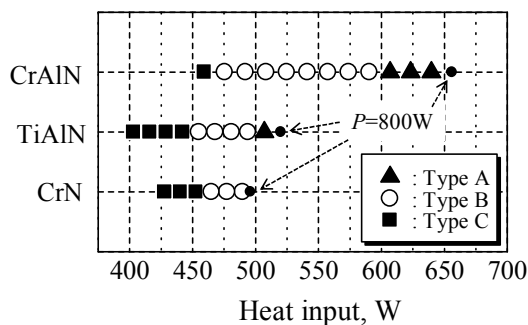


図4 レーザ照射実験結果
(入熱量による整理)



図5 レーザ照射部断面観察結果
なった。これは、薄膜の耐酸化性の相違に起

因するものと考えられた。すなわち、Type B が得られるレーザー出力範囲は、薄膜の吸収率と耐酸化性によって決定されると考えられた。

このような側面から考察すると、まず、吸収率が高く、耐酸化性に優れた薄膜が、成膜後レーザー焼入れ処理に適した薄膜であるといえる。実際、本研究で用いた薄膜のうちで吸収率と耐酸化性に最も優れるCrAlNを用いた被覆鋼において、最も広い条件範囲で安定したレーザー焼入れが可能であった。

なお、いずれの試験片とも、焼入れ後の基材硬さは、各基材の焼入れ硬さと同等で、約0.5mmの焼入れ深さが得られた。図5は、Type B に分類されたCrAlN被覆試験片を図2のx軸と平行に切断し、断面をナイトル腐食した結果の一例である。

(2) 各種機械的特性に及ぼすレーザー熱処理の影響

レーザー照射部に対して、スクラッチ試験による密着強度測定を行った。その結果を、図6に示す。図6より、適切な条件を選択すれば、いずれの被覆鋼とも、レーザー照射により高い密着強度が得られることがわかった。

図7は、超微小硬度計による膜硬さ測定結

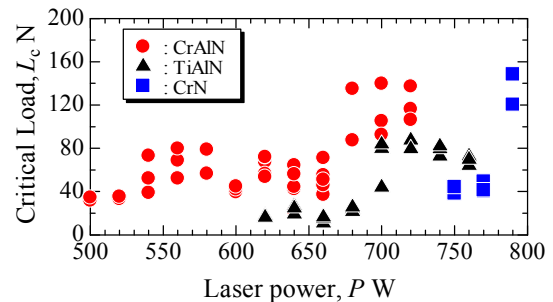


図6 密着強度測定結果

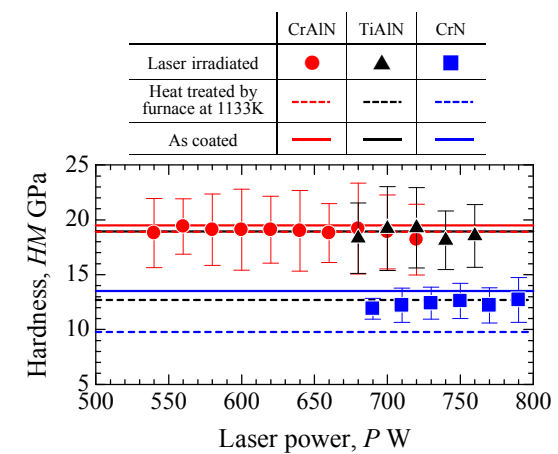


図7 膜硬さ測定結果

果である。図中には、電気炉による焼入れを

想定し、1133Kで20分の加熱を行った場合の硬さもあわせて示した。同図に示す通り、電気炉による加熱を行った場合、いずれの薄膜でも硬さの低下が認められた。これに対し、成膜後レーザー焼入れ処理では、処理前後で膜硬さはほぼ等しかった。

また、レーザー照射部に対して球圧子押し込み試験を実施し、リングクラックの発生荷重から薄膜の破壊強度を調べ、薄膜の破壊強度に及ぼすレーザー照射の影響を調べた。図8は、レーザー照射したTiAlN薄膜に、球圧子押し込み試験を実施して得られたリングクラックの一例である。また、図9は、各薄膜の破壊強度の測定結果を表している。図中には膜硬さ測定の場合と同様、電気炉を使用して1133Kで20分の加熱を行った場合の破壊強度もあわせて示した。同図より、電気炉での加熱により、各薄膜の破壊強度はいずれも大幅に低下することがわかった。これに対し、レーザー熱処理では、いずれの薄膜とも破壊強度を損なうことなく処理が可能であることがわかった。

さらに、レーザー出力に対する残留ひずみ量の変化を調べた結果、基材が同じ場合、薄膜の種類に依存して変化したが、薄膜の吸収率を考慮した入熱量で整理すれば、薄膜の種類に依存しないことがわかった。また、薄膜の

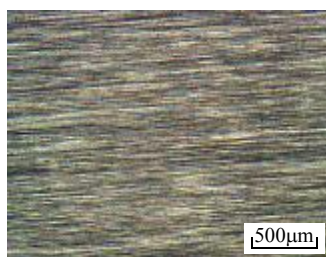


図8 リングクラック

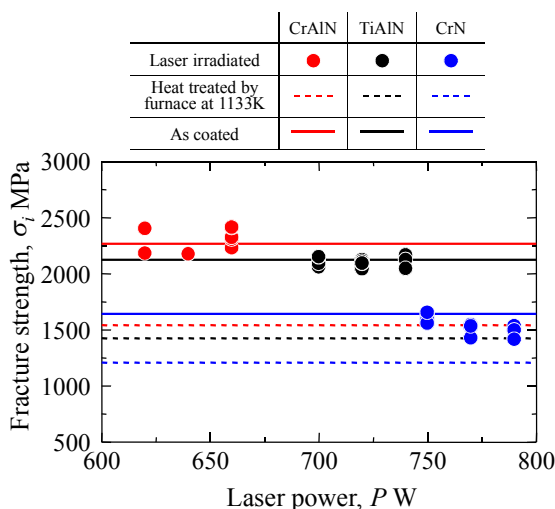


図9 破壊強度測定結果

耐摩耗性に及ぼす影響を調べた結果、成膜後

レーザー熱処理により薄膜の耐摩耗性を改善できる可能性があることもわかった。

以上のように、成膜後レーザー熱処理により、薄膜の表面損傷を生じることなく、また、膜硬さや破壊強度の低下を伴うことなく、基材硬さ、密着強度、耐摩耗性の向上が可能であることを明らかにすることができた。

(3) 実製品への応用について

成膜後レーザー熱処理の特長を活かした機械要素部品や工具などの高機能化と実用化を目指し、実製品への成膜後レーザー熱処理の応用を試みた。フィルムやシールなどの型抜き加工に用いられる工業用微小刃物“トムソン刃”に本処理を応用した結果、実用化にはさらなる研究が必要であるものの、従来法では困難な、“刃先部での硬さ”と“刃元部でのじん性”を兼ね備えた高機能なトムソン刃の作製が可能であることを示すことができた。

(4) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

これまでになく新しい処理技術であるため、まだ広く認知されるには至っていないが、これまでに行った研究発表では高い関心と評価を得ることができた。特に、海外の研究者から強い関心が示され、共同研究の申込みの連絡を受けるなど、ある一定のインパクトを与えることができた。また、2013年6月に香港にて開催予定の国際会議（2013 2nd International Conference on Metallurgy Technology and Materials）では、主催者からの依頼を受け、本研究に関する内容で“Keynote speech”を行う予定である。今後、さらに本手法の周知に努めることにより、国内外の研究者や技術者に強いインパクトを与えられるものと考えている。

(5) 今後の展望

本補助金による助成により、本処理法の効果に関する基礎的な研究を推進することができた。今後は、本研究で明らかとなった特長を活かし、高価で加工の困難なセラミックスや粉末ハイスなどを用いた機械部品等の代替として利用可能なセラミックスコーティング製品を、低価格、短納期で供給可能で、環境にも優しい実用的な処理法として確立すべく、応用研究を推進していく予定である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計5件）

- ① Hiroataka Tanabe, Keiji Ogawa, Yui Izumi, Takuya Saraie, Motoyuki Nishizawa,

Tohru Takamatsu, Heisaburo Nakagawa, A New Surface Modification Method by Combination of Ceramic Coating and Laser Heat Treatment, New Methods of Damage and Failure Analysis of Structural Part, 査読有, 2012, 175-183.

- ② Hiroataka Tanabe, Keiji Ogawa, Takuya Saraie, Yui Izumi, Mitsuhiro Gotoh, Hideki Hagino, Takuto Yamaguchi, Tohru Takamatsu, Heisaburo Nakagawa, Heat Treatment of Ceramic Coated Steel by Scanning Laser, Experimental Mechanics - New Trends and Perspectives -, 査読無, ISBN 978-972-8826-25-3, 2012, 183-184.
- ③ 田邊裕貴, 小川圭二, 高松徹, 和泉遊以, 中川平三郎, 更家拓弥, レーザ熱処理したセラミックス薄膜の破壊強度, 日本材料学会第61期通常総会学術講演会, 査読無, USB, 2012, No.106.
- ④ Hiroataka Tanabe, Keiji Ogawa, Yui Izumi, Takuya Saraie, Mitsuhiro Gotoh, Hideki Hagino and Takuto Yamaguchi, Quenching of Ceramic Coated Steels by Scanning Laser, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.566, 2012, 427-430.
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.566.427
- ⑤ Hiroataka Tanabe, Keiji Ogawa, Yui Izumi, Tohru Takamatsu, Heisaburo Nakagawa, Takuya Saraie, Mitsuhiro Gotoh, Hideki Hagino and Takuto Yamaguchi, Influence of Laser Heat Treatment on Fracture Strength of Ceramic Thin Film, Advanced Materials Research, 査読有, Vol.566, 2012, 145-149.
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.566.145.

[学会発表] (計8件)

- ① Hiroataka Tanabe, A New Surface Modification Method by Combination of Ceramic Coating and Laser Heat Treatment, The Fifth International Workshop New Methods of Damage and Failure Analysis of Structural Parts, 2012年9月11日, オストラバ (チェコ).
- ② Hiroataka Tanabe, Heat Treatment of Ceramic Coated Steel by Scanning Laser, 15th International Conference on Experimental Mechanics, 2012年7月23日, ポルト (ポルトガル)
- ③ Yui Izumi, Quenching of Ceramic Coated Steels by Scanning Laser, 2012 International Conference on Machine Design and Manufacturing Engineering,

2012年5月12日, 済州 (韓国).

- ④ Hiroataka Tanabe, Influence of Laser Heat Treatment on Fracture Strength of Ceramic Thin Film, 2012 International Conference on Machine Design and Manufacturing Engineering, 2012年05月12日, 済州 (韓国).
- ⑤ 田邊裕貴, レーザ熱処理したセラミックス薄膜の破壊強度, 日本材料学会第61期学術講演会, 2012年5月26日, 岡山大学.
- ⑥ 西澤基行, スキャナレーザによるセラミックス被覆鋼の面焼入れ, 日本機械学会関西学生会学生員卒業研究発表講演会, 2012年3月15日, 関西大学.
- ⑦ 更家拓哉, レーザ焼入れ処理によるセラミックス被覆鋼の高強度化, 日本機械学会関西支部第86期定時総会講演会, 2011年3月20日, 京都工芸繊維大学.
- ⑧ 山崎遼, CrAlNコーテッド鋼のレーザ焼入れ, 日本機械学会関西学生会学生員卒業研究発表講演会, 2011年3月18日, 京都工芸繊維大学.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田邊 裕貴 (TANABE HIROTAKA)
滋賀県立大学・工学部・准教授
研究者番号: 00275174

(2) 研究分担者

小川 圭二 (OGAWA KEIJI)
滋賀県立大学・工学部・助教
研究者番号: 80405232