

Job name	Read ID
Version	1.0
Application	Data Matrix
ID-Content	SKYD3445K-422939-20170811
Overall Grade	C ● 2
Reference Decode	A ● 1.00
Contrast	C ● 54.47
Growth	A ● 0.12
Nonuniformity	A ● 0.02
Unused Error	A ● 1.00
Error At Decoding	A ● 0
Time for decoding	441 ms
Code ROI	ID
Set camera parameter	Filter off Calibration off
Set communication interf.	Set filter
Display Graph	hide
Display Filter	hide
Pass/Fail Cou	3 1.1
Train mode	<input type="checkbox"/>



Bildquelle: alle Coherent

Eine UDI-Markierung nach 50 Autoklavierzyklen ohne signifikanten Einfluss auf die Lesbarkeit und ohne sichtbare Korrosion.

Laserbeschriftungsmethode für Edelstahl

Es besteht zunehmend die Notwendigkeit, Geräte und Produkte aus Edelstahl mit Kennzeichen, Hinweismarken oder Logos zu versehen, insbesondere in der Medizintechnik. Pikosekunden-Lasersysteme sind ideal für Anwendungen von der UDI-Kennzeichnung (Unique Device Identifier) von Medizinprodukten bis hin zu Haushaltsgeräten, ohne negative Auswirkungen auf die Oberflächenpassivierung.

Keywords: Lasermarkieren, Laserkennzeichnen, Medizintechnik, Laserbeschriftung, Nanosekundenlasern, Festkörperlaser, CO₂-Laser

Es besteht zunehmend die Notwendigkeit, Geräte und Produkte aus Edelstahl mit Kennzeichen, Hinweismarken oder Logos zu versehen, die mehrere strenge Kriterien erfüllen müssen, die den Einsatz alternativer, konventioneller Techniken wie Druck oder Gravur weitgehend ausschließen. Bei Medizinprodukten sind beispielsweise für den Mehrfachgebrauch bestimmte Geräte von Rechts wegen mit einer eindeutigen Produktkennzeichnung (UDI) auszustatten. Ein großer Nachteil einiger Markierverfahren aber ist, dass die Kennzeichnung nicht dauerhaft ist und bei wiederholter

Sterilisation (Autoklavieren) verblasst. Eine Gravur hingegen beeinträchtigt die Oberflächenpassivierung und erfordert eine chemische Wiederaufbereitung. Zudem hinterlässt das Gravieren eine Oberflächenstruktur, die Verunreinigungen leichter aufnimmt oder im Falle von Implantaten Irritationen hervorrufen kann. In nicht-medizinischen Einsatzbereichen können aufgedruckte Kennzeichnungen durch Versand, Handhabung oder Lagerung schwer lesbar werden oder auch gezielte Fälschung ermöglichen. Es gibt mehrere etablierte Verfahren für die Laserbeschriftung und zahlreiche Industrien nutzen diese Techniken seit Jahrzehnten. Je nach Material werden

Kohlendioxid- oder CO₂-Laser, diodengepumpte Festkörperlaser (DPSS) oder Faserlaser auf breiter Basis eingesetzt. Die verschiedenen Laserbeschriftungs-Techniken bringen eine Veränderung innerhalb des Volumens des Materials, eine Oberflächenfarbänderung oder eine makroskopische Veränderung des Oberflächenreliefs und der Struktur mit sich, die leicht erkennbar ist.

Passivierter Edelstahl markieren

Laser mit Pulsbreiten im Nanosekundenbereich (ns) können verwendet werden, um permanente Markierungen auf Edelstahl zu erzeugen. Diese

Lasermarkieren

kontrastreichen Markierungen bieten eine kostengünstige Lösung für medizinische Einmalprodukte und Konsumgüter, die keiner wiederholten Reinigung ausgesetzt sind. Es gibt jedoch bestimmte Einschränkungen, die den Einsatz von ns-Lasermarkierungen ausschließen. Dies gilt insbesondere für wiederverwendbare Medizinprodukte. Diese Einschränkungen ergeben sich aus inhärenten Faktoren des Markierprozesses und der Passivierung, die korrosionsbeständige Oberflächen auf Edelstahlprodukten erzeugt. Die Passivierung wird eingesetzt, da Stahl durch Oxidation leicht korrodiert (Rost). Die Verwendung von Edelstählen (Legierungen mit hohem Chromanteil) beseitigt dieses Problem, da die Oxidation der Oberflächenchromatome eine dünne, schützende Außenschicht aus Chromoxid hinterlässt. Diese Passivierung kann auf natürliche Weise erfolgen, aber die Dicke und Unversehrtheit der passivierten Schicht wird in der Regel durch eine chemische Behandlung mit einer Säuremischung (Salpetersäure, Zitronensäure, wie Citrisurf) verbessert. Wichtig ist, dass die passivierte Oberfläche keine freiliegenden Eisenatome aufweist.

In der Lasertechnologie ist eine Pulsbreite von zehn oder hundert Nanosekunden relativ lang. Darüber hinaus sind diese Laser auf eine maximale Pulswiederholrate von 100 kHz beschränkt, so dass die für einen schnellen Durchsatz erforderliche hohe Durchschnittsleistung in eine hohe Pulsenergie übergeht. Infolgedessen ist die Wechselwirkung von Laser und Material in erster Linie photo-thermisch, wobei eine intensive Erwärmung zu einer lokalen Schmelzung führt und die Markierung durch eine chemische/strukturelle Umwandlung des Edelstahls entsteht. Diese Transformation beinhaltet die Diffusion des Chroms von der Oberflächenschicht weg, die Oxidation von Chrom- und Eisenatomen, die unterschiedliche Oxide beider Metalle erzeugen, die

Entmischung der Legierungskomponenten und Veränderungen in der Phasen-/Kornstruktur des rückverfestigten Metalls.

Während diese Art von chemischer/kompositorischer Kennzeichnung für einige rostfreie Anwendungen geeignet ist, kann sie aus verschiedenen Gründen nicht für UDIs auf wiederverwendbaren Medizinprodukten eingesetzt werden. Ein Hauptgrund ist, dass sie die Passivierung der Stahloberfläche stark beeinträchtigt, wie das Auftreten von starker Korrosion nach einem einzigen Prüfzyklus bestätigt: 50°C, 5% Salzwasserspray, für 72 Stunden.

Die Einsatzmöglichkeiten von ns-Faserlasern werden durch weitere Faktoren reduziert. Insbesondere bei ästhetischen Anwendungen, wie dem Aufbringen von Markenlogos, ändert sich zum einen je nach Blickwinkel Farbe und Kontrast der Markierung. Zum anderen ist das Erscheinungsbild sehr empfindlich gegenüber Prozessbedingungen, vermutlich aufgrund von Schwankungen in der Dicke der betroffenen Schicht und der Korngröße innerhalb der transformierten Schicht. Daher können konsistente Ergebnisse nur in einem sehr begrenzten Prozessfenster erzielt werden. Darüber hinaus kann die thermische Belastung durch die lokale Erwärmung dünne Teile wie Platten- und Rohsubstrate verformen.

Extrem dunkel mit hohem Kontrast

Dank eines relativ neuen Laserverfahrens, dem so genannten Black Marking, gehören diese Einschränkungen der Vergangenheit an. Diese Technik basiert auf dem Einsatz von Lasern, die Pulsbreiten im Bereich von 10 bis 20 Pikosekunden (ps) liefern, das heißt 10.000 Mal kürzere als die für ns-Faserlaser typischen Pulsbreiten. Obwohl die Pulsenergie 100 Mal geringer sein kann als bei ns-Lasern, kann die Pulsspitzenleistung (Pulsenergie/Impulsbreite) 100 Mal höher sein. Die Kombination von hoher Spitzenleistung

mit kurzer Pulsdauer führt zu einer sehr unterschiedlichen und subtileren Transformation der Metalloberfläche. Ebenso wichtig ist, dass der in diesen Pikosekundenlasern verwendete Pulsmechanismus, das so genannte Modelocking, Pulswiederholraten bis zu 1 MHz unterstützt. So kann der Laser die hohen Durchschnittsleistungen (10 Watt und mehr) liefern, die für einen kostengünstigen hohen Produktionsdurchsatz erforderlich sind, ohne jedoch die hohen Pulsenergien zu erzeugen, die für Nanosekundenlaser charakteristisch sind, und ohne die unerwünschten thermischen Effekte. Wenn der Laserstrahl eines Pikosekundenlasers auf die Stahloberfläche trifft, erzeugt er eine kontrastreiche schwarze Markierung. Diese ähnelt zwar oberflächlich der Markierung eines ns-Lasers, ist aber ganz anderer Art. Die kurze Pulsdauer minimiert den thermischen Eintrag und begrenzt die Flüssigphase auf die äußeren Atomschichten. Das Ergebnis ist die Bildung einer nanoskalierten Oberflächenstruktur namens Laser Induced Periodic Surface Structure (LIPSS), die als lichteinfangende Oberfläche dient. Damit einher geht eine minimierte Diffusion der Metallatome und eine begrenzte Entmischung sowie eine nur teilweise Oxidation der Oberflächenchrom- und Eisenatome. Während also ns-Laser eine Markierung aus chemisch transformiertem schwarzem Material erzeugen, erzeugt der ps-Laser eine Oberfläche, die schwarz erscheint, deren chemische Zusammensetzung und Legierungsverteilung jedoch kaum beeinflusst werden.

Das Black Marking von Edelstählen bietet eine Kombination von Vorteilen, die die schnell wachsende Nachfrage nach diesem Verfahren bei wiederverwendbaren Me-

dizinprodukten, Konsumgütern und anderen Produkten erklärt. Zum einen sind die Beschriftungen extrem dunkel und bieten einen sehr hohen Kontrast, der die Lesbarkeit für Mensch und Maschine optimiert. Ebenso wichtig ist, dass weder Farbe noch Kontrast durch Veränderungen der Betrachtungs- oder Beleuchtungswinkel beeinflusst werden, was die Lesbarkeit zusätzlich erhöht.

Für den Markt der wiederverwendbaren Medizinprodukte bietet dieses Verfahren zwei Vorteile: Erstens beeinträchtigt der Beschriftungsprozess eine zuvor passivierte Oberfläche nicht und zweitens führt eine vor der Passivierung durchgeführte Markierung nicht dazu, dass durch die nachfolgende Passivierung die

Markierung in irgendeiner Weise verblasst. Diese Widerstandsfähigkeit und Flexibilität, die Markierung in verschiedenen Prozessschritten durchführen zu können, maximiert den Wert des Verfahrens und senkt die Kosten. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für Korrosionstest-Referenzproben aus Edelstahl 1.4301, bei denen beide unter identischen Prozessbedingungen schwarz markiert waren, aber nur eine der Proben mit Citrisurf danach passiviert wurde. Beide Proben wurden dann einem Korrosionstest von 72 Stunden in 50°C, 5% Salzwasser, unterzogen. Es gibt praktisch keinen Unterschied in der Fähigkeit der Markierungen, Korrosion zu widerstehen. Andere Edelstähle zeigen ähnliche Ergebnisse, und während Markierungen auf einigen minderwertigen Stählen durch die-

se Art der Korrosionsprüfung leicht verblasst sind, sind sie immer noch sehr gut lesbar und ohne Anzeichen von Oberflächenkorrosion/Oxidation. Abbildung 4 zeigt die Fähigkeit von ps-Lasermarkierungen, einer späteren Passivierung standzuhalten. Hierzu wurde eine Datamatrixcode-Markierung einem typischen Passivierungszyklus des Eintauchens in 7% Citrisurf 2250 für 20 Minuten bei 50°C unterzogen. Es ist keine signifikante Veränderung der Lesbarkeit der Markierung zu erkennen.

Ein weiterer Vorteil des ps-Laserbeschriftens ergibt sich aus den damit verbundenen minimalen thermischen Einflüssen. Das Verfahren ist damit besonders gut für den Einsatz bei thermisch empfindlichen und zerbrechlichen Teilen wie Drähten, Rohren, dünnen Blechen und kleinen Implantaten geeignet, da keine Gefahr einer Formänderung besteht.

Aus reinen Praktikabilitäts Gesichtspunkten ist es wichtig zu wissen, dass die Prozessergebnisse im Gegensatz zu Verfahren mit ns-Lasern relativ unempfindlich gegenüber Veränderungen der Laserleistung oder des Laserfokus sind. Dies führt zu einem großen Prozessfenster, was sowohl den Durchsatz als auch den Ertrag steigert.

Dauerhafte Kennzeichnung, ohne Passivierung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die direkte Kennzeichnung auf Edelstahluntergründen zunehmend gefragt ist, um beispielsweise den Vorschriften für Medizinprodukte gerecht zu werden aber auch aus ästhetischen Gründen, wie bei Markenlogos. Der neue Laserprozess erfüllt genau diese Marktanforderung und bietet eine dauerhafte Kennzeichnung, die ohne erneute Passivierung auskommt und auch nach Dutzenden von Autoklavenzyklen gut lesbar bleibt.

Autor: Thorsten Ferbach, Coherent Inc.

www.coherent.com

Diese Bilder zeigen eine schwarze Markierung vor (oben) und nach (unten) einer 20-minütigen Citrisurf-Passivierung. Die Passivierung hat keinen Einfluss auf den Kontrast

