ارتقا فرآیند تولید بدنه خودرو با استفاده از فناوری اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی

سید محمد طباطبایی قمی[+]، آرش سردشتی[1*] و اصغر ناصری[2]

تهران، پژوهشکده توسعه تکنولوژی، قطب علمی اندازه گیری دقیق ابعادی گروه پژوهشی مهندسی مکانیک، صندوق پستی: 1668-13445

تاریخ دریافت: 1392/03/25 و تاریخ پذیرش: 1392/08/25

چکیده

در این مقاله به فناوری اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی در بدنه خودرو پرداخته شده است که نقش مهمی در ارتقای کیفیت محصول خروجی از خط تولید صنایع خودرو دارد. پس از پرداختن به زیربنای علمی و فنی فناوری مورد بحث، وضعیت این فناوری در صنعت خودروسازی دنیا بررسی شده است. برای مطالعه سطح کاربرد و پذیرش این فناوری در داخل کشور، خط تولید ایران خودرو مورد بازدید و بررسی قرار گرفته و نتایج این بررسی به‌صورت خلاصه ذکر شده است. در پایان نیز جمع‌بندی کلی و پیشنهاداتی برای بهبود کلی فرایند تولید بدنه خودرو در ایران ارائه شده است.

واژگان کلیدی: درز، ناهمسطحی، روش‌های اندازه‌گیری نوری، اندازه‌گیری ابعادی، بازرسی بدنه خودرو.

+ شماره نمابر: 66075628-021 و آدرس پست الکترونیکی: Taba@coedm.ir

* عهده دار مکاتبات

1 شماره نمابر: 66075628-021 و آدرس پست الکترونیکی: Sardashti@coedm.ir

2 شماره نمابر: 66075628-021 و آدرس پست الکترونیکی: Naseri@coedm.ir

1- مقدمه

بازرسی خودروهای تولیدی بخش مهمی از فرآیند تولید است که شامل معاینه درز[3]های بین سطوح قطعات خودرو نیز می‌شود. اندازه‌گیری درزها بخش مهمی از فرآیند مونتاژ خودرو است و توجه زیادی می‌طلبد؛ زیرا این‌گونه نواقص در معرض دید هستند و باعث عایق‌بندی نامناسب اتاقک سرنشینان و ایجاد صدای زیاد در سرعت‌های بالا می‌شود. ناهمسطحی[4] بین قسمت‌های بدنه خودرو و درزهای موجود چنانچه خارج از حدود قابل قبول باشند اثرات نامطلوبی بر خواص آیرودینامیکی خودرو از قبیل ضریب پسا داشته و باعث افزایش مصرف سوخت بویژه در سرعت‌های بالا می‌شود. در صنعت خودرو این مسئله از اوایل دهه 1980 مورد توجه قرار گرفت؛ اما تا به امروز اندازه‌گیری درزها تا حد زیادی به‌طور دستی انجام می‌شود و نیروی انسانی و زمان قابل توجهی می‌طلبد. روش‌های سنتی مورد استفاده برای اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی بین قطعات بدنه خودرو می‌تواند به‌صورت زیر طبقه‌بندی شود:

1. روش‌های مکانیکی: در آن از یک سنجه انعطاف‌پذیر برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود. این سنجه داخل درز جازده می‌شود و پهنای درز یا ناهمسطحی را اندازه می‌گیرد.
2. روش‌های اولتراسونیک: با استفاده از سیگنال‌های صوتی فرکانس بالا و اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت آنها اندازه‌گیری لازم را انجام می‌دهند.
3. روش‌های الکتریکی: با اندازه‌گیری مشخصات الکتریکی درز مانند ظرفیت الکتریکی، ابعاد آن را تعیین می‌کنند.

تکنیک‌های بالا قابلیت خودکارسازی را ندارند و در نتیجه برای بازرسی 100 درصدی روی خط تولید مناسب نیستند. علاوه بر دشواری و زمانبر بودن روش‌های بالا، بیشتر آنها دقت پایینی دارند. علاوه براین ابزارهای مکانیکی ممکن است باعث ایجاد خراش روی سطح بدنه خودرو شود. ثبت نتایج در روش‌های عددی نیز دشوار است.

در روش‌های نوین از اندازه‌گیری نوری برای بازرسی درز و ناهمسطحی بدنه خودرو استفاده می‌شود. سیستم‌های نوری مزایای زیادی نسبت به روش‌های سنتی دارند؛ به عنوان مثال، علاوه بر امکان پایش کامل فرآیند اندازه‌گیری، دارای دقت بالا و حذف ریسک تخریب قطعه هستند. هم‌چنین نتایج می‌توانند به‌راحتی و به‌طور خودکار در پایگاه داده ذخیره شده و مورد تحلیل‌های آماری قرار گیرد.

در این مقاله، فرایند اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی در صنایع خودرو معرفی شده است. پس از مروری بر نظریات علمی زیربنای این فرایند، به مطالعه فناوری‌های موجود در صنعت دنیا پرداخته شده و در ادامه وضعیت به‌کارگیری این فناوری در ایران به‌صورت مطالعه موردی شرکت ایران خودرو معرفی گردیده است. مقاله با پیشنهاداتی جهت استفاده بهینه از این فناوری در ارتقای محصولات صنعت خودرو به پایان می‌رسد.

2- مروری بر سامانه‌های متداول بازرسی درز و ناهمسطحی در صنعت دنیا

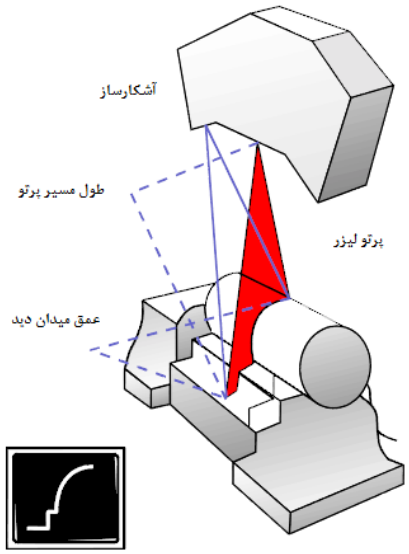
مقالات علمی پیرامون سیستم‌های اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی از غنای کافی برخوردار نیست. بیشتر این سیستم‌های تجاری برای پیشگیری از سرقت ایده‌ها هنوز در مقالات و مجلات علمی بازتاب نیافته‌اند. اساس روش‌های نوین بر پایه اسکن سه بعدی با استفاده از پرتو فشرده نور یا لیزر استوار است.

اسکن سه بعدی لیزری یک فناوری آزمون غیرمخرب و غیرتماسی است که شکل قطعات فیزیکی را به‌صورت دیجیتالی با استفاده از تابش یک پرتو لیزر، ثبت می‌کند. اسکنرهای لیزری یک ابر نقاط[5] از داده‌های سطح شیء تولید می‌کند. به‌عبارت دیگر، اسکن سه بعدی روشی برای ایجاد نسخه‌ای دیجیتالی و سه بعدی از شکل و اندازه دقیق قطعه بشمار می‌آید. این روش برای اندازه‌گیری و بازرسی فنی سطوح انحنادار و هندسه‌های پیچیده که توصیف دقیق آنها نیاز به گردآوری حجم زیادی از داده‌ها دارد، بویژه زمانی که این داده‌ها را نمی‌توان با یک ابزار دستی و به‌صورت نقطه به نقطه تولید کرد، بسیار مناسب است. فرایند اسکن سه بعدی از مراحل زیر تشکیل شده است[1]:

1. استخراج داده‌ها با استفاده از اسکن لیزری: شیء مورد نظر بر روی بستر دیجیتایزر قرار داده می‌شود. یک نرم‌افزار تخصصی پراب لیزری (تاباننده پرتو لیزر) را بر روی سطح شیء حرکت می‌دهد. این کار می‌تواند به‌صورت دستی نیز انجام شود. پراب لیزری پرتو لیزر را روی سطح حرکت داده و همزمان یک یا دو حسگر دوربینی، تغییر فاصله و شکل خط لیزر را به‌طور سه بعدی ثبت می‌کنند.
2. تولید ابر نقاط: شکل شیء موردنظر به‌صورت ابری از نقاط برداشت شده نمایش داده می‌شود.

3 Gap
4 Flush
5 Points Cloud

3. تحلیل ابر نقاط و تولید خروجی: بر حسب قابلیت‌های نرم‌افزار کاربردی خاصی که از اسکنر سه بعدی پشتیبانی می‌کند، خروجی‌ها و گزارش‌های متفاوتی قابل تولید است. تفاوت اصلی سیستم‌های مختلف اسکن سه بعدی نیز در این مرحله بروز می‌کند. بیشتر نرم‌افزارها قادر به تولید فایل‌های CAD از داده‌های ابر نقاط هستند که می‌توانند در نرم‌افزارهای مختلف طراحی به کمک کامپیوتر مورد تحلیل بیشتر قرار گیرند(شکل شماره 1).



شکل 1: فرایند اسکن سه بعدی لیزری[1]

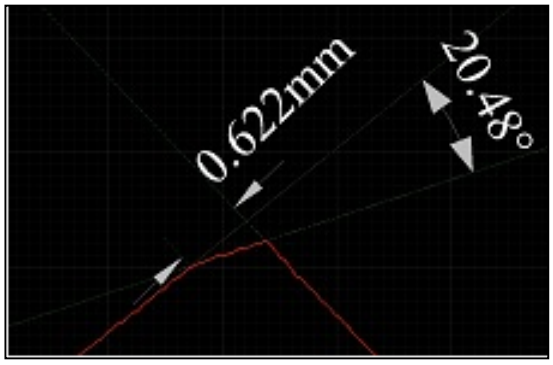
استفاده از حسگرهای لیزری در مورد اشیایی که تنوع رنگی دارند با دشواری‌هایی مواجه است. در این حالت، شدت پرتو لیزر باید مطابق با رنگ شیء تحت اندازه‌گیری تنظیم شود؛ در غیر این‌صورت پرتو تابانده شده روی رنگ‌های تیره غیرقابل دیدن بوده یا در مورد رنگ‌هایی با بازتابندگی بالا بیش از حد درخشان خواهد بود. در محیطی مانند خط مونتاژ که رنگ شیء تحت اندازه‌گیری از قبل معلوم نیست، باید سیستم‌هایی مکمل برای تشخیص رنگ نصب شود. مشکل وقتی بزرگتر می‌شود که قطعات دو طرف درز دارای رنگ‌های نایکنواخت باشند. علاوه براین، لیزر نمی‌تواند مواد شفاف مانند شیشه را اندازه‌گیری کند؛ بنابراین درزهای موجود در شیشه جلو یا چراغ جلوی خودرو با استفاده از لیزر غیرقابل اندازه‌گیری هستند. یکی از ایرادات نسبی دیگر حسگرهای لیزری نیاز آنها به بازتاب‌های متوالی از طریق دوربین برای پایش یک پروفیل کامل درز است. این امر بویژه در مورد خودروهایی که با سرعت نسبتاً زیاد که بر روی خط نقاله در حرکتند، یک نقص بشمار می‌آید. در سال‌های اخیر شرکت-های متعددی اقدام به تولید سیستم‌های خاص اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی بدنه خودرو کرده‌اند که برخی از نواقص ذاتی این سیستم را با پردازش‌های متعدد کامپیوتری برطرف می-سازند. در ادامه به برخی از این گونه سیستم‌ها اشاره می‌شود.

1-2- شرکت Third Dimension Software

این شرکت ابزاری به نام Gap Gun (شکل شماره 2) ابداع نموده که توسط آن باریکه‌ای از لیزر بر روی درز تابانده شده و داده‌های گردآوری شده توسط دوربین برای رسم پروفایل درز براساس روش مثلث‌بندی فعال[6] بکار می‌رود[2].

شکل2: محصول Gap Gun شرکت Third Dimension Software

ابزار مزبور به‌طور مستقل و بدون نیاز به پردازش‌کننده خارجی عمل می‌کند و می‌تواند تا چهل دقیقه با باتری داخلی و تا شش و نیم ساعت با کابل متصل به باتری خارجی کار کند. داده‌ها روی بورد ذخیره شده و می‌توانند در زمان دلخواه با استفاده از پورت USB و یا با استفاده از ارتباط بیسیم به کامپیوتر منتقل شود. این ابزار می‌تواند تا 4000 داده در هر اندازه‌گیری را ثبت کند و به حداکثر دقتی معادل 10 میکرون دست یابد. در شکل شماره 3 نمونه‌ای از اندازه‌گیری انجام شده توسط این دستگاه نشان داده شده است.



شکل3: نمونه‌ای از خروجی اندازه‌گیری شده توسط Gap Gun

6 Active Triangulation

2-2- فناوری اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی inos iMs

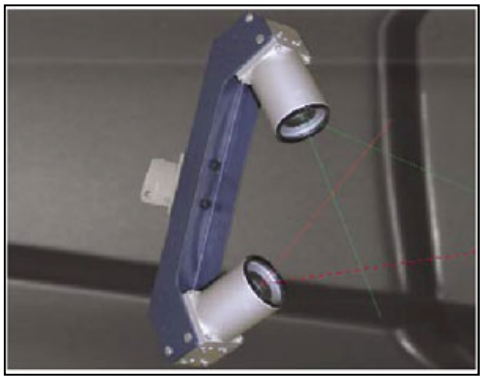
این فناوری که از محصولات شرکت inos Automation است، قادر به اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی بدنه اتومبیل در حال حرکت بر روی خط مونتاژ است. چنین ادعا شده که این فناوری هم در مورد بدنه سفید [7] و هم بدنه رنگ شده به‌خوبی عمل می‌کند [3].

حسگرهای نوری iSENS (شکل شماره 4) شامل یک جفت دوربین و یک جفت فیکسچر مخصوص است که به‌طور یکپارچه با سیستم اندازه‌گیری طراحی شده‌اند. اصول کارکردی این سیستم را به‌شرح زیر می‌توان خلاصه نمود:

1. دو استروبوسکوپ مادون قرمز یا منبع نور لیزر، لبه‌های درز را روشن می‌کنند.
2. دو دوربین ویدیویی استریو (دوجهته) بازتاب نور از روی لبه‌ها را دریافت می‌کنند.
3. سیستم پردازش تصویر، موقعیت سه بعدی نقاط برخورد پرتوهای نور را محاسبه کرده و پهنای درز و ناهمسطحی را محاسبه می‌کند.

اجزای اصلی این سیستم به قرار زیر هستند:

1. رایانه شخصی صنعتی تحت سیستم عامل ویندوز
2. دوربین و منبع نور مناسب
3. کارت‌های دیجیتایزر (دیجیتالی کردن) ویدیویی
4. ایستگاه‌های نمایش با تلویزیون‌های عریض



شکل4: سنسورهای نوری iSENS

2-3- فناوری‌های ASI Datamyte

این فناوری از سه بخش اصلی تشکیل شده است[4]:

1- فرمان‌های غیرتماسی لیزری
2- حسگرهای تماسی LMI
3- نرم‌افزار QDA

این سامانه کاربردهای متنوعی از بدنه خودرو گرفته تا فیکسچرهای کنترلی و بدنه و کابین خلبان را دربرمی‌گیرد. فرمان لیزری از اصول متداول اندازه‌گیری نوری درز استفاده می‌کند و سیستم LMI نیز جایگزینی برای روش سنتی اندازه‌گیری توسط فیلر[7] و پیچ‌های انگشتی[8] محسوب می‌شود.

2-4- سیستم Calipri Gap

اولین سامانه‌ای است که لبه مرئی درز را از چند نقطه دید اندازه‌گیری می‌کند. این سیستم قادر به ثبت عمق درز نیز است. اپراتور حسگر Calipri را پیرامون درز حرکت می‌دهد و حسگر، بخش‌های مختلف منحنی درز را ثبت و وارد سیستم پردازش داده می‌کند. با بهره‌گیری از سه پرتو خطی لیزر، هرگونه کجی و پیچ و تاب در حرکت حسگر را جبران می‌کند(شکل شماره 5). این سیستم قابلیت استفاده به‌صورت قابل حمل یا بر روی روبات‌های مخصوص در خط تولید را دارد[5].

در حسگر نوری این ابزار، از تابش سه پرتو لیزر استفاده می‌شود تا اثرات لبه‌ای[9] و تابیدگی[10] معمول در حسگرهای نوری جبران شود. بدین ترتیب نتایج اندازه‌گیری تکرارپذیری داشته و فارغ از تاثیرگذاری کاربر می‌شود. این ابزار از نرم افزار ویژه‌ای به نام Calipri Analyzer استفاده می‌کند که قادر است داده‌های اندازه‌گیری را به سرعت و به‌صورت یک پروفایل از درز به نمایش بگذارد.

شکل5: سیستم Calipri Gap و عملکردهای مربوط به آن

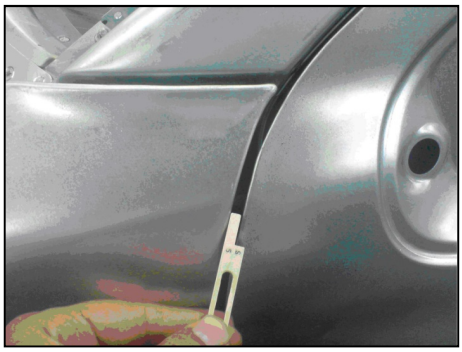
3- بررسی تجارب صنعتی موجود در زمینه بازرسی درز و ناهمسطحی در کشور- مطالعه موردی: شرکت ایران خودرو

در کارخانه ایران خودرو، درب‌هایی که مرحله بازرسی با گیج

7 Filler
8 Thumb Screw
9 Lopsidedness
10 Twists

مخروطی[11] و فیکسچر کنترلی[12] را طی کرده‌اند بر روی بدنه کامل بدون درب که از مرحله کنترل CMM عبور کرده، نصب شده و بدین ترتیب بدنه کامل بوجود می‌آید. سپس اندازه‌گیری فواصل بین درب‌ها و بدنه، گلگیر و سایر قسمت‌های مرتبط توسط گیج‌های استخوانی انجام می‌شود. اندازه‌گیری با گیج‌های استخوانی سرعت بالایی دارد ولی دارای دقت و جامعیت خوبی نیست و دقت اندازه‌گیری در این روش در حدود 0/5 میلی‌متر است.

در شکل شماره 6 به ترتیب اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی به‌وسیله گیج استخوانی نشان داده شده است.

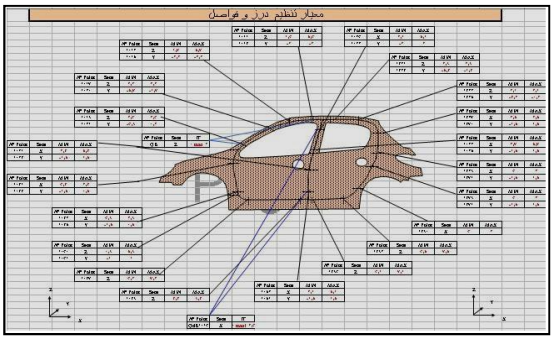


شکل 6: اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی درب و بدنه خودرو به وسیله گیج استخوانی

کنترل دیگری که در این زمینه انجام می‌شود، کنترل با دستگاه Data myte (شکل شماره 7) است. بر حسب تعداد تولید در روز برخی نمونه‌های بدنه کامل وارد اتاقی به نام Shop demerit شده و درزها و ناهمسطحی مقاطع مشخصی با دستگاه Data myte اندازه‌گیری می‌شود. این دستگاه که عملکردی شبیه یک کولیس دیجیتالی دارد می‌تواند نتایج اندازه‌گیری را در حافظه خود ذخیره کرده و در قالب یک فایل Excel به کامپیوتر منتقل نماید. دقت اندازه‌گیری در این دستگاه 0/01 میلی متر است.

شکل 7: دستگاه اندازه‌گیری Data Myte

در شکل شماره 8، گزارشی از اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی بدنه کامل خودرو آورده شده است.



شکل 8: گزارشی از اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی بدنه کامل خودرو

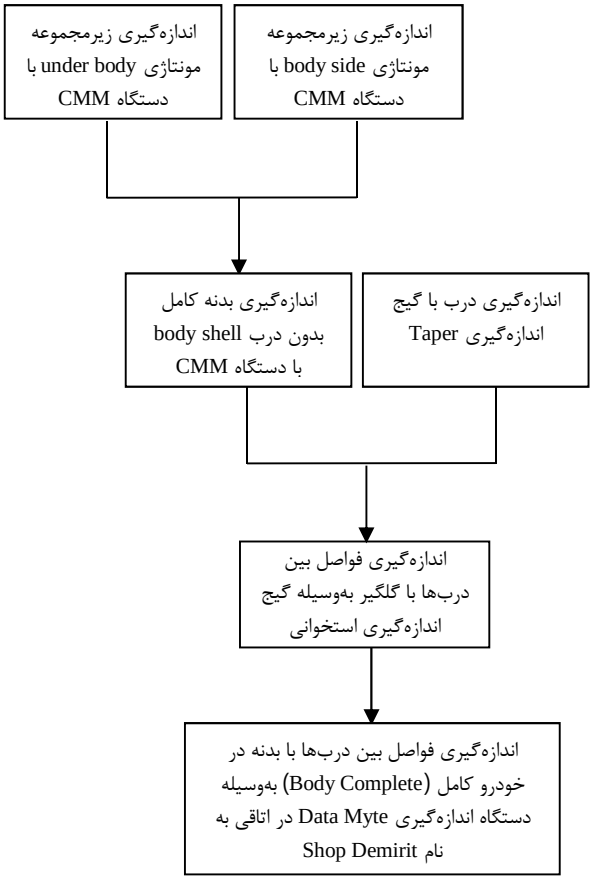
شکل شماره 9 جایگاه بازرسی درز و ناهمسطحی بدنه را در فرایند کلی بازرسی بدنه کامل در خط تولید شرکت ایران خودرو نشان می‌دهد.

برای برطرف ساختن ایرادات ذاتی روش‌های اندازه‌گیری لیزری و نوری از جمله مشکل حساسیت به رنگ قطعات یا تفرق نور، راه‌حل‌هایی در سال‌های اخیر پیشنهاد شده است. به‌عنوان نمونه در مقاله‌ای به نگارش کازموپولوس و واروارِیگو با عنوان "بازرسی خودکار درزها در خط تولید اتومبیل با استفاده از دید دو جهته و بازتاب آینه‌ای"[6] روشی برای اندازه‌گیری درز بدنه اتومبیل با استفاده از بازتاب آینه‌ای و دو عدد دوربین معرفی شده است. شکل شماره 10 نمایی کلی از این سیستم را نشان می‌دهد. سیستم مزبور شامل دو عدد دوربین برای تولید دید دو جهته (استریو) و دو لامپ LED مادون قرمز برای درخشان کردن درز است. یک مانع نوری[13] باعث تولید سیگنال نوری لازم برای شروع اندازه‌گیری می‌گردد و نرم‌افزار کاربردی، ابعاد درز را

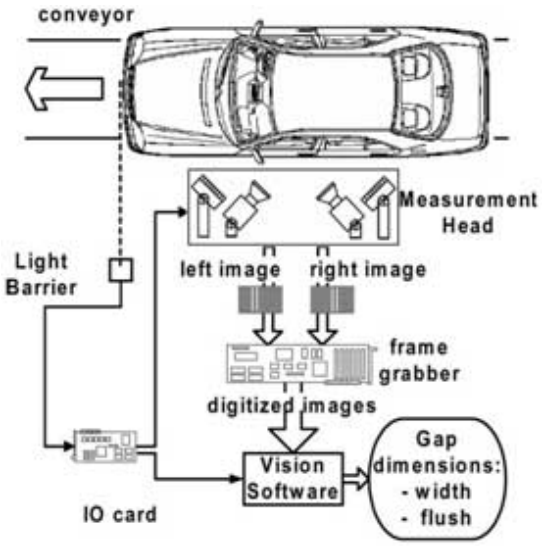
11 Taper
12 Checking Fixture

13 Light Barrier

از تصویر تولید شده استخراج می‌کند. دقت این روش حدود 0/1 میلی‌متر برآورد شده که برای اندازه‌گیری درز کافی است.



شکل9: فرایند کلی بازرسی بدنه کامل خودرو



شکل10: نمایی کلی از سامانه پیشنهادی

4- جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات تکمیلی

به‌طور سنتی، اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی به‌طور دستی و با استفاده از انواع مختلف پراب‌های مکانیکی انجام می‌شود. اندازه‌گیری دستی مستلزم هزینه نیروی انسانی بالا است و چنانچه پراب‌های مکانیکی به خوبی بکار نروند مستعد خطا خواهد بود. متخصصین و مدیران خط مونتاژ همواره تمایل خود را مبنی بر کنترل حداقل 50 نقطه در هر خودروی تولیدی ابراز کرده‌اند[7]. برآورده ساختن این نیاز مستلزم استفاده از روش‌های اندازه‌گیری سه بعدی از قبیل گیج‌های نوری یا لیزری است.

مطابق بررسی‌های انجام شده، در صنایع تولیدی کشور بازرسی درز و ناهمسطحی به‌صورت قسمت یکپارچه‌ای از فرایند تولید و بازرسی کیفی انجام نشده و کنترل‌های صورت گرفته در این زمینه در بخش‌های عمده‌تر بازرسی کیفیت ادغام شده‌اند. استفاده از گیج‌های دستی که فاقد امکان ارسال مستقیم نتایج به کامپیوتر هستند نیز خللی در فرایند یکپارچه بازرسی بدنه محسوب می‌گردد. لذا پیشنهاد می‌شود در خطوط تولید خودرو در کارخانجات مختلف کشور بخش مستقلی برای کنترل برخط درز و ناهمسطحی ایجاد شود که از روش‌های نوین جهت کنترل درز و ناهمسطحی در حین فرایند تولید و مونتاژ نهایی خودرو استفاده می‌کند. بدین ترتیب می‌توان تحلیل دقیق‌تری از کیفیت ساخت بدنه خودرو انجام داد و در صورت مشاهده مشکلات عمده در قسمت درز و ناهمسطحی بدنه نسبت به اصلاح فرایند تولید بدنه کامل خودرو اقدام کرد.

در جدول شماره 1 مقایسه‌ای کلی بین روش‌های دستی و روش‌های نوری اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی ارائه شده است.

جدول 1: مقایسه‌ای کلی بین روش‌های دستی و روش‌های نوری اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی

اندازه‌گیری با گیج	اندازه‌گیری با روش‌های نوری
تثبیت موقعیت با دست، باعث اندازه‌گیری غیردقیق و غیرقابل تکرار می‌شود.	مدل خودکار (غیردستی)، باعث اندازه‌گیری دقیق و قابل تکرار می‌شود.
درز و ناهمسطحی اجباراً به‌طور جداگانه اندازه‌گیری می‌شود.	اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی به‌طور همزمان اندازه‌گیری می‌شود.
استفاده از ابزار اندازه‌گیری، پیچیده و طولانی مدت است و آموزش‌های گران قیمتی را نیاز دارد.	نیازی به آموزش ندارد و اپراتور به‌وسیله رشته‌ای از اندازه‌گیری‌ها هدایت می‌شود.
مینیمم درز قابل اندازه‌گیری در این روش 2 میلی‌متر است.	مینیمم درزی وجود ندارد که سیستم قادر به اندازه‌گیری آن نباشد.
گیج‌ها برای اندازه‌گیری موارد معینی طراحی می‌شود.	نرم‌افزار با تعداد قابل توجهی از درزها و ناهمسطحی‌ها سازگار است.
نیاز به دخالت انسان دارد.	سیستم قابلیت اتصال به روبات را دارد.
تماس فیزیکی وجود دارد که در بعضی اوقات منجر به آسیب بدنه می‌شود.	هیچ تماس فیزیکی وجود ندارد.

همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌شود اگر اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی در خط تولید به‌صورت سنتی و با استفاده از گیج‌های دستی انجام شود مشکلاتی از قبیل اندازه‌گیری غیردقیق و غیرقابل تکرار، اندازه‌گیری طولانی‌مدت و نیاز به آموزش‌های گرانقیمت، محدودیت قابلیت اندازه‌گیری در حد 2 میلی‌متر، نیاز به دخالت انسان و تماس فیزیکی و احتمالاً آسیب بدنه را بوجود می‌آورد. ولی اگر اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی در خط تولید با استفاده از روش‌های نوری (روش‌های نوین) انجام شود مزیت‌هایی از قبیل اندازه‌گیری دقیق و قابل تکرار، اندازه‌گیری درز و ناهمسطحی به‌طور همزمان، عدم نیاز به آموزش‌های گران قیمت، عدم وجود مینیمم قابلیت اندازه‌گیری، سازگاری نرم‌افزارها برای تعداد قابل توجهی از درز و ناهمسطحی‌ها، عدم نیاز به دخالت انسان (قابلیت اتصال به روبات) و عدم نیاز به تماس فیزیکی را فراهم خواهد ساخت.

در کل می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از فناوری‌های نوین (روش‌های نوری) در خط تولید، امکان تولید خودروی با کیفیت‌تر و مطابق با استانداردهای جهانی را فراهم می‌سازد.

فهرست منابع

[1] Spangard Kristine; "*New Advances In 3d Laser Scanning Technologies From Laser Design*", www.laserdesign.com.

[2] Gap Gun Plus, http://www.third.com/us/gapgun.

[3] Inos Rsma: "*Robot Based Gap And Flush Measurement For Biw And Finish Line*", http://www.inos-automation.de/index.php/en/Automotive/Gap-Flush.

[4] Asi Datamyte, http://www.asidatamyte.com/en/solutions/gap-flush-and-seal-gap.

[5] Calipri Gap, "*accurate, non-contact measurement of gap & flush - as fast as never before*", http://www.nextsense.at/english/products/caliprigap.htm.

[6] Automated inspection of gaps on the automobile production line through stereo vision and specular reflection, Athens Nat. Tech. University, Greece.

[7] LMI Technologies, www.lmi3d.com/sites/default/files/mind-gap.pdf.