مقاله

لحیم کاری لیزری در تولید خودرو

نعمت اله نخعی

چکیده:
استفاده از تکنولوژی لیزر در ساخت خودرو برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی مطرح شد. پس از آن، از لیزرهای CO_2 در صنایعی که نیاز به قدرتی در حدود ۵۰۰ تا ۷۰۰ وات داشتند استفاده شد، اما این نوع از لیزرها فقط قادر به برش پانل های با ضخامت کم بودند. از طرفی کمبود پرسنل عملیاتی با تجربه و نیز عدم اطمینان و تا حدودی چشم انداز غیر مطمئن این فرآیند در آینده به عنوان یک عملیات تولیدی موجب شده بود که در گذشته این تکنولوژی به صورت جدی مورد استفاده قرار نگیرد. به هر صورت تحقیقات مؤسسات مختلف از جمله انجمن فرانهوفر در آلمان و شرکت های تحقیقاتی دیگر منجربه توسعه هر چه بیشتر لیزرهای نوری شد. بعد از آن مشخص شد که لیزر فرصت جدیدی در تولید خودرو است به شرطی که نیروی خروجی مورد نیاز برای عملیات با سرعت بالا و با کیفیت مناسب فراهم شود. در واقع تنها چند سال برای طراحی لیزرهای CO_2 با حداکثر قدرت خروجی ۲۵۰۰ وات زمان برد. برای مثال با این تکنولوژی پانل های اصلی بدنه خودرو با سرعت بالا و به طول چندین متر در کمتر از یک دقیقه بریده می شدند. از طرف دیگر لیزر با قدرت خروجی ۲/۵ کیلو وات برای جوشکاری پانل های با ضخامت ۰/۸ میلی متر و با سرعت مناسب نیز قابل استفاده بود. به هرصورت وضعیت لیزر برای توانایی ها و کاربردهای آن به صورت روشن و واضح در حد تحقیقات مطرح بود.
امروزه پس از گذشت بیش از ۳۰ سال، نه تنها کمبودی از نظر قدرت خروجی لیزرها وجود ندارد بلکه راه های مختلفی برای ذخیره کردن منابع نوری آن نیز وجود دارد. لیزرها دامنه کاربرد و سیعی دارند به طوری که هیچیک از قطعات خودرو از جمله بدنه، شاسی، موتور یا قوای انتقالی بدون استفاده از آن ساخته نمی شوند.

موج جدیدی از اختراعات امروز حاصل نتایج تکنولوژی لیزر در فرایندهای تولید است. به طوری که استفاده از لیزر موجب شده که طراحی و ساخت یک وسیله جدید راحتر از بهبود طرح قدیمی آن باشد. همچنین مهندسی معکوس به واقعیت پیوست و آینده ساخت خودرو تحت تاثیر تکنولوژی لیزر قرار گرفت. با توجه به دلایل فوق توسعه هر چه بیشتر منابع نوری سیستم های حمل کننده و جابجا کننده نور، تکنولوژی مطمئن، تکنولوژی های حساس به نور برای فرایندهای کنترل و در نهایت بالا رفتن قوت و فن کاربردهای این تکنولوژی در دستورکار محققان قرار گرفت.

یکی از تازه ترین پیشرفت ها در زمینه کاربرد تکنولوژی لیزر فرآیند لحیم کاری لیزری در اجزای بدنه خودرو می باشد. چگونگی تکنولوژی فوق در ادامه تشریح و معرفی می شود.

لحیم کاری لیزری - پاسخی به مشکلات طراحی

تنها درحدود ۵ سال قبل لحیم کاری لیزری به عنوان یک فرآیند جدید در زمینه تولید خودرو معرفی شد. فولکس واگن اولین وسیله ای بود که از این تکنولوژی در تولید آن استفاده شده. درب صندوق عقب خودروی فوق با یک سطح فرو رفته عمیق (محل پلاک خودرو) امکان تولید آن را به صورت یک قطعه مستقل با این عمق کشش ممکن نمی ساخت.

تولید درب عقب به کمک دو قطعه مجزا امکان پذیر شد (درب به دو قسمت بالایی و پائینی تقسیم شد که این دو قسمت در امتداد ناحیه بالای پلاک به یکدیگر متصل شدند). فرآیندهای جوشکاری مرسوم برای اتصال این دو قسمت به یکدیگر این سؤال را در ذهن تداعی می کرد که چگونه می توانیم یک قطعه رویه خودرو را بدون اثری از جوشکاری به یکدیگر متصل کنیم. در بهترین و با کیفیت روش جوشکاری همیشه خط اتصال بدلیل اثر الکترود جوشکاری نمایان و غیر قابل اجتناب است. حرارت ایجاد شده در جوشکاری یا تکنولوژی اتصال قطعات هر کدام به تنهایی این خط اتصال را نمایان می کنند. به نظر می رسد که تنها یک راه برای حذف این مشکل وجود دارد که آنهم تغییر طراحی پانل درب صندوق عقب است.

این مشکل در نهایت به کمک پیشرفت فرایندلحیم کاری لیزری حل شد. تکنولوژی که تا آن زمان فقط در صنایع الکترونیکی از آن استفاده می شد (لحیم کاری مقاومت ها، خازن و غیره). این تکنولوژی در بردهای الکترونیکی یک جزء لازم از کاربردهای لیزر برای سالیان متوالی بوده است. به محض آزمایشات دقیق مشخص شد که لحیم کاری امکان ایجاد یک سطح صاف و نرم را دارد. دقیقاً سطحی با این کیفیت برای اتصال قطعات مختلف رویه در خودرو به کمک لیزر مورد نیاز است. از طرفی امکان دوباره کاری در قسمت های بیرونی بدنه خودرو به منظور ایجاد سطح صاف و صیقلی قبل از رنگ کاری نیز وجود ندارد. لحیم کاری نرم برای اتصال قطعات بالایی و پائینی درب صندوق عقب بدلیل عدم استحکام کافی مجاز نمی باشد. امروزه نوع زیاد آلیاژهای لحیم کاری استحکام بالا را فراهم می کنند. پیش از این اولین تجربه انتخابی در لحیم کاری لیزری با تجمع ترکیبات مختلف به منظور اتصال فولاد پرکربن با فلز پرکربن دیگری بود.

لحیم کاری لیزری بر پایه این دانش توسعه داده شد و بعد از توسعه فرآیند فوق، فرایندی که برای کاربردهای تولیدی در خودرو مناسب تشخیص داده شد همین لحیم کاری لیزری با بهترین کیفیت سطح و بالاترین استحکام بود. (شکل ۱)

شکل ۱- درب صندوق عقب Opel Vectra

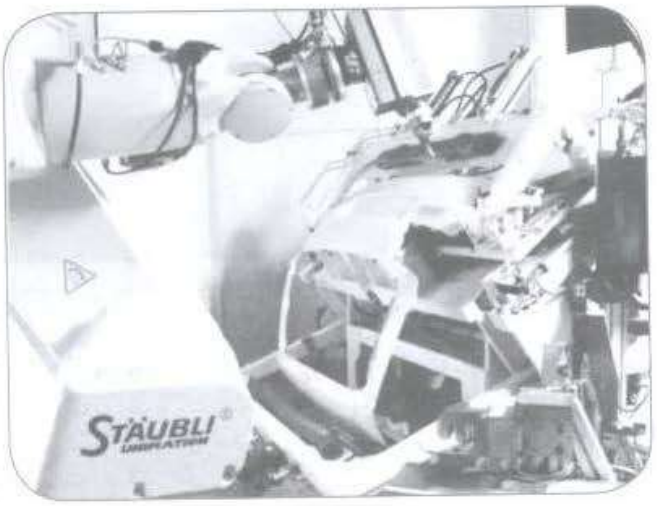
نیازهای فنی برای یک مجموعه لحیم کاری لیزری

به طور کلی صحبت از فرآیند لیزر اجزای بدنه خودرو به معنی فرآیند سه بعدی قطعات شکل گرفته شده است. لذا مسیر حرکت در امتداد پرتوهای لیزر است بنابراین یک منحنی سه بعدی در فضا نشان داده می شود. از تمام انواع لیزرهای در دسترس، لیزر Nd : YAG مناسب ترین نوع برای فرآیند لحیم کاری لیزری در صنعت امروز خودروسازی می باشد. در ابتدای این مقاله به لیزر CO_2 اشاره شد که پرتوهایی بسیار نزدیک به دامنه مادون قرمز منتشرمی کند(با طول موج $\lambda=10.6\mu m$) . لیزر Nd : YAG نیز پرتوهایی بسیار نزدیک به دامنه مادون قرمز منتشرمی کند. ($\lambda=1.06\mu m$) . اختلاف اصلی بین این دو نوع لیزر، امکان هدایت لیزر Nd : YAG از داخل فیبر نوری است. در لیزر CO_2 با بازتابش و شکست برای هدایت پرتوهای لیزر استفاده می شود. با توجه به قابلیت انعطاف فیبرهای نوری، استفاده از لیزرهای Nd : YAGدر عملیات سه بعدی توجیه پذیر می شود. نوع دیگری از لیزر، لیزر دیودی است که امروزه نوع دیگری از لیزر Nd : YAG را منتشر می کند. در همه جا این نوع جدید لیزر قابل استفاده در تولید نیست. بنابراین موضوعات ذیل بر روی لیزر Nd : YAG متمرکز شده است. مزیت دیگر تکنولوژی فوق این است که، منبع پرتو لیزر نیاز به مکانی در کنار مجموعه اصلی خط تولید ندارد. روش استاندارد، ایجاد لیزر در بالای محل عملیات و اتصال آن به سر لیزر لحیم کاری به کمک کابل فیبر نوری به طول ۲۰ یا ۳۰ متر می باشد. قدرت پرتوهای لیزر در حدود یک هزارم در هر متر فاصله کاهش می یابد. این بدین معنی است که حتی می توان در صورت فاصله زیاد بین محلی که لیزر قرار دارد و محل انجام عملیات لحیم کاری لیزری از یک کانال برای عبور کابل فیبر نوری استفاده کرد. این موضوع آزادی عمل زیادی در طراحی موقعیت مجموعه لیزر به تولید کنندگان خودرو می دهد. برای مثال ممکن است

در میزان فضای مورد نیاز محدودیت هایی وجود داشته باشد. در عمل امکان ایجاد مجموعه های لیزر با طول ۸۰ متر کابل فیبر نوری نیز خواهیم بود. قسمت بالای لیزر لحیم کاری که به انتهای کابل فیبر نوری متصل شده منجربه هدایت مفصل های ربات در سرتاسر طول بدنه خودرو می شود. (شکل ۲)

شکل ۳-کلگی ربات لحیم کاری لیزری به همراه تعدیه کننده سیم لحیم کاری

شیار بسیار کوچک قرار دارد، به طور مثال



شکل ۲- مجموعه لحیم کاری لیزری با ربات، کلگی و فیکسچر قطعه کار

کلگی لیزر لحیم کاری از چندین قسمت تشکیل شده است قسمت نوری شامل دو جزء موازی ساز و مجموعه متمرکز کننده که پرتوهای لیزری منتشر شده از فیبر نوری را در یک نقطه به قطر حدوداً ۰.۶ میلیمتر متمرکز می کند.

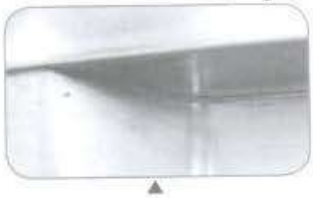
قسمت دیگر وسیله تعدیه کننده سیم است که باعث حرکت سیم لحیم کاری به موقعیت اصلی عملیات می شود. از این رو این تکنولوژی بسیار شبیه نقش الکترود در جوشکاری معمولی است. تعدیه کننده سیم به صورت الکتریکی هدایت آن را بعهده دارد. این وسیله در قسمت راست جلوی کلگی لحیم کاری قرار دارد که موجب هدایت سیستم سیم لحیم کاری به محل تمرکز پرتوهای لیزر می شود. (شکل ۳)

میزان تعدیه سیم قابل کنترل است و به طور پیوسته با سرعت لحیم کاری تنظیم می شود. به همین دلیل بین اجزاء فوق با کاهش سرعت حرکت ربات سرعت لحیم کاری نیز کاهش می یابد. اگر میزان تعدیه سیم لحیم کاری کم نشود ضخامت محل لحیم کاری نیز تغییر می کند. در این حالت کیفیت سطح لحیم کاری با چشم غیر مسلح برای پر کردن مرز جدایش قطعات مناسب نیست.

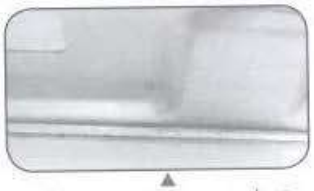
حسگری که به کلگی ربات لحیم کاری متصل شده است در واقع این اطمینان را به ما می دهد که مسیر حرکت کلگی ربات به موازات منحنی مسیر شکاف بین دو قطعه قابل انتصال می باشد. امروزه سیستم های مختلفی برای دنبال کردن مسیر شکاف قطعات مورد استفاده قرار می گیرند. سیستم لامسه ای نتایج خوبی با توجه به شکل هندسی ساده آن در برداشته است. در همه جا اجزاء پیچیده نیاز به تکنولوژی پیشرفته تری برای دنبال کردن مسیر حرکت دارد مثل روش نوری. در اینجا فرق اساسی در نحوه ساخت سیستم های درون خطی و برون خطی می باشد. در این حالت سیستم های برون خطی قبل از فرآیند لیزر پی گیری شده و مسیر برنامه های ربات براساس شرایط واقعی تنظیم می شود. در صورتی که سیستم درون خطی در حین فرآیند اصلاح می شود.

همانگونه که در مطالب قبلی بیان شد، کلگی لحیم کاری و مجموعه اجزاءاضافی آن بوسیله یک ربات مفصل دار هدایت می شود. وقتی ربات راانتخاب می کنید، دقت کنید که خطای اجزاء آن ۰.۳ + میلیمتر باشد. اگر چه انحرافات می تواند با تکنولوژی حسگرها در مسیر حرکت اصلاح شود ولی اصلاحات در همه جا فقط در داخل محدودهٔ معین امکان پذیر است. شرایط بحرانی دیگری که محورهای ربات در جهت یابی مجدد در طول حرکت منحمل می شوند شامل سرعت ربات در مسیر حرکت، سرعت نقطه مرکز ابزار[۴] (TCP) و کاهش سریع حرکت برای حفظ منحنی مسیر برنامه ریزی شده می باشد. ضرورت کاهش همزمان میزان تعدیه سیم لحیم کاری و قدرت لیزر، که جزئیات آن در ذیل بحث می شود نیز فقط در داخل محدودهٔ تعیین شده امکان پذیر است. ربات ها به طور کلی فقط می توانند دقت مورد نیاز تجهیزات را برای لحیم کاری لیزری در یک اندازه محدود میسر سازند. به همین دلیل انتخاب دقیق و نوع مناسب ربات از نظر ابعاد ظاهری نیز ضروری است.

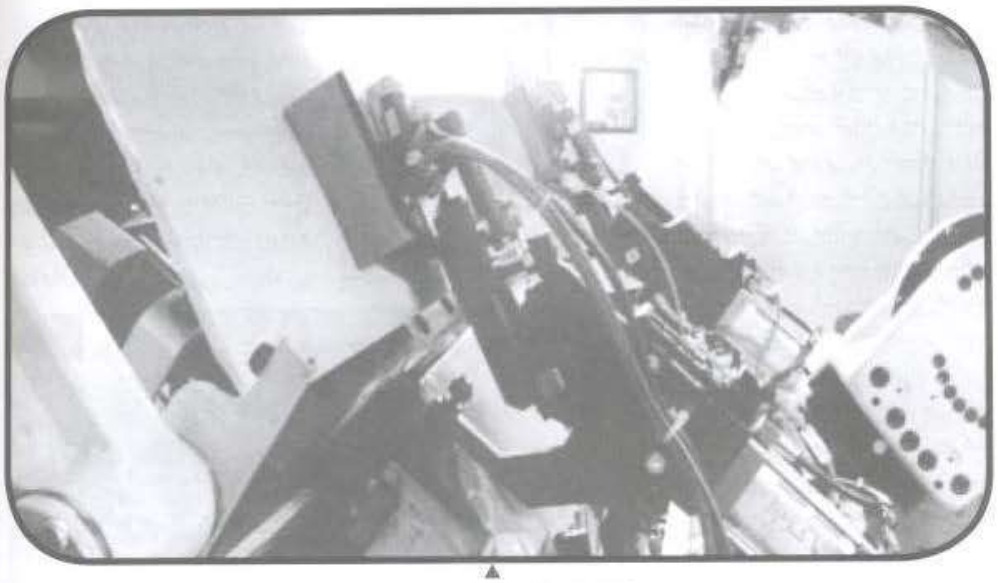
(شکل a۵ و b۵)



شکل ۵a- درزهای قطعات در گوشه های سطوح با روش لحیم کاری لیزری



شکل b۵- تصویر بزرگ شده درزهای قطعات در روش لحیم کاری لیزری



شکل ۵ - نمونه فیکسچر برای درب صندوق عقب

برای لحیم کاری لیزری نیاز به یک فیکسچر مرکب است. سیستم های مناسب که وظایف ذیل را کامل نماید:

• اطمینان از استحکام هندسی در اتصالات
• اطمینان از موقعیت اجزاء ثابت

در این وضعیت شکاف لحیم کاری شده یک نوار جوش اتصال را نشان می دهد. به عنوان مثال اگر درز اتصال به علت تلرانس های اجزاء غیر قابل اجتناب باشد، نتیجه حاصل از لحیم کاری سطح غیر یکنواخت است. هر تغییری در موقعیت اجزاء نسبت به دیگری نیز اثرات نامطلوب و در نهایت محصول معیوب را بدنبال دارد. مکانیزم فیکسچر برای لحیم کاری لیزری به طور معمول خیلی پیچیده و دارای فک های کنترلی الکتریکی، هیدرولیکی یا پنوماتیکی می باشد که به طور منظم در کنار یکدیگر قرار گرفته اند. (شکل ۲)

در نتیجه طراحی سیستم های فیکسچر اطمینان از صحت عملکرد فرآیند جوشکاری لیزری را تعیین می کند.

از دیگر نکات مهم در مجموعه لحیم کاری لیزری ایمنی کابین است. اثرات مخرب تشعشعات لیزر، از جمله تشعشعات پراکنده که در محدوده عملیات لیزرکاری ایجاد می شودمی بایست به طور کامل از عبور نور محافظت شود به طوری که هیچ نوری از داخل به فضای اطراف آن منتشر نشود. این موارد به خصوص در لیزر Nd : YAG کاربرد دارد.این نور امکان صدمه زدن به چشم انسان را دارد. دستورالعمل های ایمنی متجربه کاهش مسئولیت شرکت های بیمه کارگران و انجام عملیات جوشکاری و لحیم کاری لیزری و نیز برشکاری صحیح در کارخانجات می شود.

تمام مجموعه به کمک کنترل کننده های منطقی قابل برنامه ریزی در واحد کنترل و یک مسئول کنترل با ربات هدایت می شود.

تکنولوژی لحیم کاری لیزری

پارامترهای اصلی فرایند برای بهینه سازی فرآیند به شرح ذیل می باشند:

• قدرت لیزر
• قطر پرتو تمرکز
• موقعیت نقطه تمرکز لیزر
• سرعت فرآیند
• میزان تغذیه سیم لحیم کاری

• قدرت لیزر

باافزایش قدرت لیزر، به سادگی مشاهده می شود که میزان سیم لحیم کاری با شدت بیشتری گداخته می شود و از طرف دیگر میزان تغذیه سیم که باعث افزایش سرعت لحیم کاری می گردد نیز افزایش می یابد. حداکثر قدرت خروجی لیزرهای مدل Nd : YAG که امروزه در صنعت رایج هستند ٤٤٠٠ وات می باشد. به عنوان مثال با قدرت ۲۰۰۰ وات، سرعت عملیات لحیم کاری در حدود ٤٠ میلیمتر بر ثانیه می باشد. البته این سرعت فقط در مسیر مستقیم یا قسمت هایی که کم وبیش دارای مسیر صاف هستند صدق می کند. در سطوحی که دارای انحناء هستند سرعت کاهش می یابد که در حقیقت این کاهش سرعت مربوط به ربات می باشد. به طور کلی انرژی لیزر می بایست کاهش یابد زیرا بدلیل آزاد شدن انرژی زیاد در مسیر لحیم کاری موجب گرم شدن قطعات، ذوب شدن و یا اعوجاج آنها می گردد. قدرت لیزر بوسیله برنامه ای که برای کنترل آن تنظیم شده کاهش می یابد.

• قطر پرتو تمرکز

این کیفیت توسط کلگی ربات لحیم کاری تعریف می شود. در اصطلاح فیزیکی، قطر پرتو تمرکز لیزر از قطر کابل فیبر نوری و فاصله کانونی که به موازات محل تمرکز قرار دارد ناشی می شود. اگر D_{Foc} قطر نقطه تمرکز لیزر، D_{Fib} قطر کابل فیبر نوری و F_{Foc} ، F_{col} فاصله کانونی که به موازات محل تمرکز است را نشان دهد، قطر نقطه تمرکز با فرمول ذیل محاسبه می شود:

$$D_{Foc} = D_{Fib} * F_{Foc} / F_{col}$$

معمولاً فاصله کانونی که به موازات محل

تمرکز قرار دارد به معنی قطر پرتو تمرکز و مساوی قطر کابل فیبر نوری است.

• موقعیت نقطه تمرکز لیزر

موقعیت نقطه تمرکز لیزر، بستگی به موقعیت نقطه نور و وضعیت سطح دارد به عبارت دیگر گداخته شدن یکنواخت سیم لحیم کاری در محل درز قطعات و حفظ موقعیت کانکی ربات لحیم کاری در حفظ موقعیت نقطه تمرکز لیزر اهمیت بسزایی دارد. در واقع قطر نقطه نور چندین مرتبه بزرگتر از کوچکترین قطر تمرکز ممکن می باشد. در بعضی اوقات قطر پرتو تمرکز تا حدود ۲ میلیمتر می باشد.

• سرعت فرآیند

رابطه بین سرعت فرآیند در مسیر حرکت ربات و قدرت لیزر همیشه مورد بحث است. قدرت لیزر و میزان سرعت عملیات می تواند مستقل از میزان انرژی ورودی در واحد طول باشد. انرژی ورودی در واحد طول بست قدرت لیزر به سرعت عملیات است. بنابراین واحد این کمیت ژول بر سانتی متر است. یک مجموعه نوری از مقدار ثابت انرژی ورودی در واحد طول و ابعاد مسیر متمایز است. با توجه به این جزئیات، مقدار انرژی ورودی در واحد طول ثابت است. در زمانی که سرعت مسیر حرکت ربات کم می شود قدرت لیزر نیز کاهش می یابد. بهر حال، این به معنای محدودیتی است که قدرت لیزر بسیار پائین است و دیگر امکان گداختن کامل سیم لحیم کاری به طور کامل وجود ندارد. این موضوع به روشنی نشان می دهد که ربات ها نیز در شرایط بحرانی فوق امکان لحیم کاری لیزری را ندارند.

• میزان تغذیه سیم لحیم کاری

بعد از تشریح موارد بالا مقدار انرژی ورودی در واحد طول فی نفسه در میزان تغذیه سیم لحیم کاری از اهمیت بسزایی برخوردار است. مقدار قدرت لیزر مسلماً به حجم گداخته شدن سیم بستگی دارد. در نتیجه میزان تغذیه سیم می بایست همزمان با سرعت فرآیند کنترل شود.

در حقیقت فرآیند تحت تاثیر پارامترهای مختلفی از جمله انتخاب جنس مناسب سیم لحیم کاری نیز می باشد. بهر حال، بحث کامل موضوع فراتر از تمام این موارد است. به هر صورت، اشاره خلاصه ای از این واقعیت که آلیاژهای مس از جمله Cusi۳ به طور طبیعی در لحیم کاری لیزری قابل استفاده هستند را بیان کردیم.

• خلاصه

لحیم کاری لیزری به عنوان یک تکنولوژی جدید تولیدی برای متصل کردن قطعات رویه به یکدیگر مطرح شده است. مزایای این تکنولوژی پوشش با کیفیت درزهایی است که با چشم قابل رویت است و این پوشش نیازی به دوباره کاری و عملیات پولیش ندارد. این موضوع باعث آزادی عمل برای طراحی قطعات بدنه خودرو می شود. این پیشرفت فوق مزایای زیادی برای توسعه خودروهای جدید در بازارهای تجاری جهانی دارد برای مثال درب صندوق عقب را می توان با هزینه پائین از طریق اتصال دو قطعه مختلف در بالا و پائین درب تولید کرد. بدون لحیم کاری لیزری برای هر بازار می بایست درب صندوق عقب اختصاصی تولید شود. جدای از درب صندوق عقب مذکور، دیگر قطعات با ارزش از جمله سقف را نیز می توان به کمک روش فوق درز جوش کرد. مزیت طراحی در خصوص قطعه فوق نیز رفع چکه کردن آب سقف و نیز حذف پوشش اختصاصی برای آن است.

بهرحال، می بایست به خاطر داشت که تکنولوژی لحیم کاری لیزری پیچیده و نیاز به متخصصان ماهر به منظور کنترل و اجرای فرآیند در حین تولید دارد و همچنین هزینه سرمایه گذاری آن زیاد است. به همین دلیل، یک برآورد دقیق از تکنولوژی با هزینه های مربوطه و مقایسه مزایای آن از اساسی ترین شرایط ایجاد این تکنولوژی می باشد.

تصاویر مربوط به شرکت اپل در شهر روسلهایم و قطعه درب صندوق عقب مدل Opel Vectra می باشد.

منابع:

1-http//:www.thyssen stahl.com

۲- مقاله فصل نامه Thyssenkrupp techforum

نویسندگان مقاله :

-DIPL.-ING. JENS HUSNER Body-in-White Production Systems Design | Nothelfer GmbH, Wadern-Lockweiler

-DR.-ING. AXEL LUFT Coordination Research & Development | Nothelfer GmbH, Wadern-Lockweiler

-DIPL.-PHYS. CHRISTOPH OLAINECK Manager Research & Development | Nothelfer GmbH, Wadern-Lockweiler

اطلاعیه

بدینوسیله به اطلاع اعضای محترم جامعه قالب سازان ایران و نیز افرادی که ایمیل جامعه را دارند میرساند با توجه به تغییرات به وجود آمده از این پس امکان استفاده از دامنه

Toolmakers.ir

جهت پست های الکترونیکی (Email) امکان پذیر نمی باشد، لذا از کلیه افراد خواهشمندیم در صورت نیاز به ساخت ایمیل مجدد با دامنه Toolmaker.ir، با دبیر خانه جامعه قالب سازان ایران تماس حاصل فرمایند.

دبیر خانه جامعه قالب سازان ایران:

۸۸۸۴۲۵۱۸

۸۸۳۴۷۱۶۱

(خانم فتحی)