

مبحث ۱۱

مخازن CNG

شناسنامه جزوه

عنوان بحث : مخازن CNG

تهیه و تدوین: مهندس اسماعیلی، مهندس سیدکاشی

برگزار کننده دوره : شرکت فرامه بین الملل، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور

ویرایش: اول، تیر ماه ۱۳۸۵

تعداد صفحات : ۶۵ صفحه

تیراژ : ۳۵ نسخه

نوبت چاپ : اول

فهرست مندرجات

۱-۱	مقدمه	۶
۱-۲	استانداردهای جهانی و ملی	۹
۱-۲-۱	استاندارد ISO	۱۱
۱-۲-۲	تعدادی از استانداردهای مخازن CNG	۱۲
۱-۲-۲-۱	استاندارد ISO/FDIS/11439 (CNG4)	۱۲
۱-۲-۲-۲	استانداردهای رایج در ایالات متحده	۱۳
۱-۲-۳	استاندارد ملی ایران	۱۴
۱-۳	تعیین مخزن با توجه به نوع خودرو	۱۵
۱-۴	انواع مخازن CNG	۱۸
۱-۴-۱	مخزن نوع اول CNG-I	۱۸
۱-۴-۲	مخزن نوع دوم CNG-II	۱۹
۱-۴-۳	مخزن نوع سوم CNG-III	۱۹
۱-۴-۴	مخزن نوع چهارم CNG-IV	۲۰
۱-۵	مقایسه انواع مخازن	۲۱
۱-۶	پارامترهای اساسی در انتخاب مخازن CNG	۲۳
۱-۶-۱	نسبت وزن به حجم معادل آب (Kg/ Lit.)	۲۳
۱-۶-۲	قیمت به حجم (قیمت ویژه مخزن) (\$/ Lit.)	۲۳
۱-۶-۳	ضریب ریسک یا ضریب مقاومت مخزن	۲۳
۱-۷	فناوری ساخت مخازن CNG	۲۴
۱-۷-۱	تولید مخازن نوع اول	۲۴
۱-۷-۱-۱	روش‌های تولید بدنه استوانه شکل فلزی	۲۵
۱-۷-۱-۲	فرآیند حدیده کاری غلتکی (Flow Forming)	۳۱
۱-۷-۱-۳	فرآیند شکل دادن برشی (Spinning)	۳۲
۱-۷-۱-۴	فرآیند تولید سیلندر از پوکه فلزی	۳۳

۳۶.....	مقایسه مزایای روش‌های تولید سیلندر.....	۵-۱-۷
۴۰.....	مقایسه معایب روش‌های تولید سیلندر.....	۶-۱-۷
۴۲.....	تولید مخازن نوع دوم.....	۲-۷
۴۳.....	تولید مخازن نوع سوم.....	۳-۷
۴۵.....	تولید مخازن نوع چهارم.....	۴-۷
۴۷.....	شرایط کاری مخازن.....	۸-۱
۴۷.....	عمر کاری.....	۱-۸
۴۷.....	حداکثر فشارها.....	۲-۸
۴۸.....	حداکثر تعداد چرخه پر کردن مخزن.....	۳-۸
۴۸.....	محدوده دما.....	۴-۸
۴۸.....	دمای گاز.....	۱-۴-۸
۴۸.....	دمای مخزن.....	۲-۴-۸
۴۹.....	ترکیب گاز.....	۵-۸
۴۹.....	گاز خشک.....	۱-۵-۸
۴۹.....	گاز مرطوب.....	۲-۵-۸
۵۰.....	سطوح خارجی.....	۶-۸
۵۱.....	ترکیب فولاد.....	۹-۱
۵۲.....	فن‌آوری‌های جدید در مخازن CNG.....	۱۰-۱
۵۲.....	سیستم ذخیره‌سازی ISS.....	۱-۱۰
۵۳.....	مخازن تطابق‌پذیر.....	۲-۱۰
۵۵.....	آزمون‌های کیفیت سنجی طراحی مخازن CNG.....	۱۱-۱
۵۶.....	آزمون ترکیدن هیدرواستاتیک.....	۱-۱۱
۵۷.....	آزمون چرخه فشار در دمای محیط.....	۲-۱۱
۵۷.....	آزمون قرارگیری در معرض آتش.....	۳-۱۱
۵۸.....	آزمون نفوذ گلوله.....	۴-۱۱
۵۸.....	آزمون عملکرد وسیله اطمینان تخلیه فشار.....	۵-۱۱

۵۹.....	آزمون نشت پیش از شکست (LBB)	۶-۱۱
۶۰.....	الزامات نشانه گذاری	۱۲-
۶۰.....	اطلاعاتی ضروری	۱-۱۲
۶۱.....	اطلاعات تکمیلی	۲-۱۲
۶۲.....	آماده سازی برای تحویل	۱۳-
۶۲.....	دستورالعمل سازنده مخزن در مورد جابجایی، استفاده و بازرسی مخزن ...	۱۴-
۶۲.....	توزیع نسخ دستورالعمل ها	۱-۱۴
۶۳.....	ارجاع به کدها، استانداردها و مقررات	۲-۱۴
۶۳.....	جابجایی مخزن	۳-۱۴
۶۳.....	نصب	۴-۱۴
۶۴.....	استفاده از مخزن	۵-۱۴
۶۴.....	بازرسی حین استفاده از مخزن	۶-۱۴
۶۴.....	نحوه تخلیه مخازن CNG	۱۵-

۱- مقدمه

یکی از اساسی ترین اجزای مدار سوخت در خودروهای گاز سوز (CNG)، مخزن ذخیره سوخت گاز طبیعی متراکم است. این مخازن، محفظه‌هایی هستند که گاز طبیعی را تحت فشار ۲۰۰ اتمسفر برای استفاده به عنوان سوخت، ذخیره میکنند. در خودروهای سواری معمولاً از مخازن فولادی استفاده می شود، این مخازن دارای ابعاد متنوعی می باشد که به نسبت ابعاد و بسته به نوع مصرف خودرو در انواع خودروها، مورد استفاده قرار می گیرد.

این مخازن باید در فرآیندی بدون استفاده از جوش و به صورت بدون درز ساخته شوند. مخزن طی عمر کاری خود بارها پر و خالی می شود و بنابراین بارها تحت تنش و خستگی ناشی از پر و خالی شدن قرار می گیرد. از سوئی، شرایط بحرانی که ممکن است مخزن ذخیره گاز نصب شده بر روی خودرو در طول عمر کاری خود با آنها مواجه شود، این الزام را ایجاد می نماید که مخازن در برابر بالا ترین سطح آزمون قرار گیرند. مخازن ذخیره گاز تحت فشار بالا، که در حال حاضر برای خودروهای گازسوز کاربرد دارند، نسبت به آنچه که ده سال پیش مورد استفاده واقع می شد، به طرز قابل توجهی تکامل یافته‌اند. در مخازن فعلی، نسبت وزن بر واحد حجم گاز ذخیره شده در مقایسه با مخازن اولیه، به بیش از نصف کاهش یافته و مخازن در اندازه‌ها و شکل‌های متفاوت تولید شده‌اند. البته توسعه و پیشرفت در این راه با کاربرد استانداردهای جدید ISO^۱ با سرعت بیشتر قابل پیش‌بینی و انتظار است. این در حالی است که دیگر روش‌های ذخیره‌سازی گاز در مراحل اولیه توسعه خود هستند.

به کارگیری گاز طبیعی فشرده به عنوان سوخت وسائط نقلیه در مقیاس وسیع در دو دهه ۵۰ و ۶۰ میلادی در ایتالیا و روسیه آغاز شد. مخازن اولیه، مخازن فولادی بودند که با مشخصات صنعتی- ملی گوناگون ساخته می شدند تا این که در اواخر سال ۱۹۷۰ میلادی با وضع مقررات جدید در ایتالیا، مخازن فولادی کم وزن به بازار عرضه شدند. در آمریکای شمالی نیز تبدیل سوخت وسائط نقلیه به گاز طبیعی در

^۱ - International Organizations for Standardization

مقیاس وسیعی، از سال ۱۹۸۰ میلادی به بعد آغاز گردید. مخازن سبک‌وزن ساخته‌شده از آستر فلزی پیچیده‌شده با الیاف شیشه‌ای که برای کاربردهای فضایی توسعه یافته بودند، در سال ۱۹۷۷ میلادی به بازارهای صنعتی وارد شدند. در سال ۱۹۸۲ میلادی مخازنی که با آستر آلومینیومی با پیچش محیطی الیاف شیشه ساخته شده بودند در صنعت CNG مورد استفاده قرار گرفتند. سازندگان مخازن فولادی این روند را تا طرح‌های سبک‌وزن‌تر برای CNG با تولید کردن آسترهای فولادی پیچیده‌شده با الیاف شیشه‌ای که در سال ۱۹۸۵ میلادی آغاز شده بود، دنبال کردند. برای این‌که وزن مخزن را برای کاربردهای CNG کاهش دهند، سازندگان بسیاری، طرح‌های کامپوزیتی کاملاً پیچیده‌ای را توسعه دادند و آسترهای فلزی یا پلاستیکی را برای مخزن محتوی گاز به کار بردند. در اواخر دهه ۸۰ میلادی کاربردهای عملی مخازن CNG با آسترهای پلاستیکی تقویت شده در سوئد، روسیه و فرانسه شروع شد. به دنبال توسعه استانداردهای مخازن گاز طبیعی در آمریکای شمالی، طرح‌هایی با آسترهای نسبتاً نازک آلومینیوم یا آسترهای پلاستیکی تقویت‌شده کاملاً پیچیده‌شده با پوشش الیاف شیشه و الیاف کربن بعد از سال ۱۹۹۲ میلادی به بازار معرفی شدند. شکل ۱-۱ نمونه‌هایی از این مخازن را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: نمونه‌هایی از مخازن تولیدشده توسط سازندگان

در ایران مخازن تحت فشار در صنایع مختلف از جمله صنایع هسته‌ای، نظامی و ... از دیر باز ساخته می‌شده است ولی بیشتر مخازن مورد استفاده در این صنایع از نوع جوشی می‌باشد و تنها مخازن نگهدارنده اکسیژن، کپسول‌های آتش نشانی از نوع بدون درز می‌باشد که تاکنون از خارج تهیه می‌شده است البته فرایندهای مشابه ساخت و شکل دهی مخازن CNG در صنایع نظامی بمنظور ساخت پوسته خمپاره و ادوات نظامی وجود دارد ولی با توجه به پیچیده‌گی تجهیزات تست و استانداردهای بالای تأیید مخازن CNG و عدم نیاز این نوع مخازن در تیراژ بالا در کشور تا قبل از سال ۱۳۸۰ هیچ گونه فعالیتی در خصوص ساخت مخازن CNG در کشور وجود نداشته‌است. ولی طرح‌های تحقیقاتی زیادی در زمینه فرایندهای شکل دهی مشابه فرایند شکل دهی مخازن CNG وجود دارد.

در خصوص ساخت مخازن CNG بعلت مشابه بودن فشار کاری این مخازن با مخازن موشک‌ها، فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه ساخت مخازن تحت فشار از نوع کامپوزیتی در صنایع نظامی انجام شده است. ولی با توجه به هزینه اولیه بالای سرمایه گذاری در خصوص ساخت این نوع مخازن، استفاده از این طرحها در ساخت مخازن CNG نوع چهارم با توجه به افزایش یکباره تقاضای مخزن CNG از سال ۱۳۸۱ و نظریه اینکه این نوع مخازن نیاز به نگهداری‌های ویژه و تست‌های دوره ای خاص و کوتاه مدت دارد، در تیراژ بالا امکان پذیر نمی‌باشد.

در سال ۱۳۸۱ با توجه به نیاز فراوان بازار داخل به مخازن CNG و مناسب بودن مخازن نوع یک (فولادی) برای خودروهای عمومی کشور، تحقیقات وسیعی در خصوص ساخت این نوع مخازن در داخل کشور آغاز گردید. با توجه به سیاست‌های کلان کشور در خصوص گاز سوز کردن خودروها، کلیه فعالیت‌های طراحی و ساخت مخازن نوع یک CNG با محوریت سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور بعنوان متولی این امر، شروع گردید.

مرکز تحقیقات جهاد و شرکت ساتک بعنوان دو مرکز تولیدی اصلی با انعقاد قرارداد بصورت سرمایه گذاری مشترک داخلی و خارجی در خصوص انتقال تکنولوژی طراحی، ساخت و تست مخازن نوع اول شروع

به فعالیت نمودند و اولین مخازن تولیدی و تأیید خط تست مخازن در تیرماه ۸۴ انجام شد و پس از تأیید نمونه اولیه (Type Appeal) مخازن، کشور ایران در زمره سازندگان مخازن CNG قرار گرفت.

لازم به ذکر می‌باشد با توجه به اینکه ساخت مخزن در این شرکت بروش لوله می‌باشد تأمین لوله‌های بدون درز فولاد کروم مولیبدن نقش تأیید کننده در به اثبات رسیدن ظرفیت اسمی کارخانه دارد. در حال حاضر لوله اولیه مورد نیاز برای ساخت مخازم CNG از تأمین کنندگان خارجی تهیه می‌شود که امید است با تولید این نوع لوله‌ها در کارخانه‌های تولید فولاد آلیاژی کشور، این وابستگی نیز از میان برود. با توجه به اینکه این نوع مخازن را می‌توان علاوه بر تولید ا روش لوله، از بیلت و ورق نیز ساخت و نظر به اینکه صنایع مختلف کشورمان امکان ساخت با این روش را دارند، امید است بتوان با انجام برنامه ریزیهای لازم، مخازن قطر پایین را با این دو روش نیز تولید نمود.

۲- استانداردهای جهانی و ملی

گاز طبیعی فشرده که به عنوان سوخت در خودروها به کار می‌رود تا فشار ۲۰۰ bar فشرده می‌شود. وجود فشار بالا در سیستم سوخت‌رسانی این خودروها و تجهیزات مرتبط با آنها نظیر تجهیزات سوخت‌گیری و کمپرسورها، این نیاز را ایجاد می‌کند که الزامات ایمنی بالایی در این تجهیزات رعایت شود. در ایران به موازات توسعه این صنعت توجه به تدوین استانداردها و مقررات و نیز کیفیت و ایمنی آغاز شده و تعداد قابل توجهی استاندارد مرتبط با CNG به وضعیت استاندارد ملی در آمده است. سازمان‌های بین‌المللی که در این زمینه فعالیت دارند ISO و CEN می‌باشند که هر کدام از کمیته‌های فنی مسئولیت تدوین یک مجموعه استاندارد مرتبط با یک موضوع را به عهده دارند. در سازمان بین‌المللی استاندارد ISO گروه TC8SC3 WG17 روی استانداردهای مخازن کار می‌کنند. در کمیته اروپایی استاندارد CEN، گروه TC326، روی مخازن ذخیره خودروهای NGV و گروه TC282 روی سیستم‌های کوچک ذخیره مخازن CNG کار می‌کنند. برخی از استانداردهای معروف در این زمینه عبارتند از:

۱- ISO 15501 سیستم سوخت خودرو با گاز طبیعی فشرده - الزامات ایمنی.

۲- ISO 15501 سیستم سوخت خودرو با گاز طبیعی فشرده - روش‌های آزمون.

۳- ISO 11439 مخازن گاز - مخازن گاز طبیعی فشرده و پرفشار برای ذخیره روی خودرو.

برخی از استانداردهای رایج بین‌المللی در جدول ۱-۲ خلاصه شده‌اند. همزمان با توسعه و گسترش استفاده از سوخت CNG در خودروها، کشورهای مختلف مجموعه‌ای از استانداردها را در این زمینه پذیرفته‌اند. در هر حال نیاز به یک استاندارد بین‌المللی در این زمینه حس می‌شد. در این زمینه استاندارد ISO موارد خاصی را برای سوخت CNG طی چندین سال تهیه کرده‌است. این استاندارد به طراحی و ساخت مخازن ذخیره گاز برای خودروهای مختلف کمک می‌کند. این استاندارد هم‌اکنون در حال توسعه و گسترش برای تبدیل به یک استاندارد کامل است. فعالیت‌های لازم جهت نیل به استاندارد توسعه‌یافته در این زمینه توسط ANGV در حال انجام است که هدف آن تدوین استاندارد خاص برای مخازن CNG است. در این زمینه یک گروه متخصص از طرف کمیته بین‌المللی ISO جهت فعالیت و بررسی‌های لازم تعیین شده‌است.

جدول ۱-۲: برخی از استانداردهای رایج بین‌المللی

کد استاندارد	دبیرخانه - سازمان حمایت کننده
ISO11439	ISO-IAngV (تصویب شده به عنوان استاندارد CEN)
ECER110	اتحادیه اروپا
ANSI/CSAN GV2	موسسه استاندارد کانادا
CSAB5Pt2	کانادا
GE	آرژانتین
METI/KHK9	ژاپن
FMVSS304	مدیریت ملی ایمنی ترافیک بزرگراه‌ها وابسته به وزارت راه ایالات

متحدہ

۱-۲ استاندارد ISO

هدف نهایی گروه TC8SC3 WG17 (مجموعه تدوین کننده استانداردهای مربوط به خودروهای گازسوز)، ارائه گواهی با عنوان مخازن تحت فشار بالا روی خودرو، برای ذخیره گاز طبیعی به عنوان یک سوخت، می باشد. نیازمندی های استاندارد براساس عملکرد چندین ساله این کمیته در سراسر جهان است (به خصوص در ایتالیا، نیوزیلند، کانادا و ایالات متحده). استانداردها براساس فشار پایه ۲۰۰ bar و دمای استاندارد ۱۵°C تدوین شده اند. این استانداردها اجازه استفاده از سایر فشارها را مشروط بر طراحی و ساخت تجهیزات، براساس آن فشار می دهند. موارد و خواسته های منحصر به فرد استاندارد بیشتر در زمینه ماده، جنس، روش های شکل دهی و ساخت سیستم های گازسوز می باشد. استاندارد، نیازهای خاص صنایع اتومبیل سازی را در نظر گرفته و همچنین نیازمندی های ذخیره یک گاز غیرهمگن در محل ثابتی در خودرو را با امکان شارژ مجدد به دفعات زیاد و محدودیت های مخازن گاز طبیعی در نظر می گیرد.

استانداردهای جدید به دنبال روش هایی جهت ساخت مخازنی مقاوم و سبک برای استفاده در خودروهای گازسوز می باشد که قیمت این مخازن کم بوده و دارای ایمنی کافی جهت عمر طولانی تحت فشار بالا، باشد. بدین ترتیب مواردی در این استانداردها مشخص شد که جزئیات سرویس دهی، طراحی و نحوه استفاده از مخازن فشاربالای گاز را در خودروهای گازسوز مشخص نمودند. همچنین استانداردها به دنبال تأمین اطمینان ساخت مخازن فشاربالا به طوری بودند که عمر این مخازن از مقدار زمان کارکرد این مخازن در خودرو، بیشتر باشد تا در طول عمر مفید خود دچار خستگی، از کارافتادگی و شکست نگردند. این مسأله به نشت پیش از شکست (LBB) موسوم است و در حال حاضر یکی از مهمترین قسمت های طراحی مخزن گاز طبیعی است.

مطابق با استانداردهای جدید، مخازن گاز باید در انتهای عمر مفید خود از کار افتاده شوند. همیشه عمر مخزن بیش از عمر خودرو است یعنی قبل از این که مخزن از کار افتاده شود عمر مفید خودرو پایان

یافته‌است. عمر کلی و دراز مدت مخازن به عواملی مثل شرایط کاری، شرایطی که مخزن تحت آن شرایط نگهداری می‌شود و فشار پرشدن مخزن بستگی دارد. توجه خاصی به مخازن فشاربالای کامپوزیتی در این زمینه‌ها شده‌است، زیرا از نظر آسیب‌های مکانیکی وارده حساس‌تر هستند.

۲-۲ تعدادی از استانداردهای مخازن CNG

در این‌جا به بررسی برخی از استانداردهای موجود در زمینه مخازن گاز طبیعی روی خودروها می‌پردازیم.

۱-۲-۲ استاندارد ISO/FDIS/11439 (CNG4)

این استاندارد

GAS Cylinder-High Pressure Cylinders for the On-board Storage of Natural Gas as a Fuel for Automotive Vehicles

بین‌المللی درخصوص طراحی، روابطی را ارائه نمی‌کند بلکه الزاماتی را توصیه می‌کند که با استفاده از این الزامات کیفیت طراحی تأیید می‌شود. این استاندارد شامل کلیات زیر می‌باشد:

۱. الزامات مواد مورد استفاده در ساخت مخزن شامل رزین، الیاف، آستری و نافی فلزی
۲. الزامات طراحی شامل فشار آزمون (۱/۵ برابر فشار کاری)، فشار ترکیدن مطابق با جدول تحلیل تنش برشی و محوری در لایه‌های داخلی مخزن، قرارگیری نازل در انتهای عدسی شکل به‌صورت عمودی و در مرکز محافظت در برابر آتش، اطمینان کافی از عمل نمودن وسایل تخلیه فشار.
۳. الزامات ساخت مخزن، شامل چگونگی ساخت آستری، نحوه و شرایط الیاف‌پیچی روی مخزن، نحوه و شرایط پخت مخزن، کنترل کیفیت رزوه‌های نافی و محافظت مخزن در برابر شرایط محیطی.
۴. الزامات آزمون مخزن. این استاندارد بیشترین توجه را به آزمون‌های محصولات دارد. به‌عبارتی چنانچه مخزن ساخته‌شده بتواند آزمون‌های پیش‌بینی‌شده در این استاندارد را با موفقیت پشت سر بگذارد آنگاه الزامات چندگانه برآورده شده و کیفیت طراحی تأیید می‌گردد.

۲-۲-۲ استانداردهای رایج در ایالات متحده

دو گروه استاندارد رایج برای مخازن CNG در ایالات متحده وجود دارد.

- 1 ANSI/AGA, NGV2
- 2 DOTNHTSA STANDARD FMVSS304

الف) استاندارد مخازن براساس ANSI/AGA, NGV2-1992

ذخیره سازی گاز طبیعی تحت فشار در مخزن برای خودروها در استاندارد NGV2 از سه جهت بر

ایمینی مخزن نظارت می کند:

۱. محدوده مجاز مواد مورد استفاده

۲. آزمون های کیفیت طراحی

۳. آزمون های کنترل کیفی و ساخت

مواد مجاز و قابل قبول در NGV2 به فولاد 4130 یا معادل آن آلیاژهای آلومینیوم (AA6061 یا

AA6010) و برخی مواد کامپوزیتی محدود می شود. تعدادی از آزمون های مطرح شده در این استاندارد

عبارتند از: سیکل فشار در شرایط محیطی، انفجار، ضربه، آتش سوزی، شلیک گلوله و غیره.

در این استاندارد در هر دوره ۳۶ ماهه مخازن به صورت چشمی از لحاظ صدمات بیرونی و خرابی

احتمالی مورد بررسی قرار می گیرند. بازرسی توسط یک شخص خبره و کارشناس، مطابق با معیارهایی که

سازنده براساس آن موفق به کسب مجوز CGA شده و با دستورالعمل های CGA (C-6.1) برای نوع ۱ و

C-6.2 برای انواع دیگر مخازن) مطابقت داشته باشد، صورت می گیرد.

ب) استاندارد خودروهای موتوری فدرال (FMVSS)

ذخیره سازی گاز طبیعی تحت فشار در مخازن مخصوص مطابق استاندارد FMVSS304 شبیه به

NGV2-92 می باشد. این استاندارد نیز از سه جهت بر ایمینی مخزن نظارت می کند.

۱. محدوده مجاز مواد مورد استفاده

¹ - Federal Motor Vehicle Standard 304

۲. آزمون‌های کیفیت طراحی

۳. آزمون‌های کنترل کیفی و ساخت

۴. مواد مجاز و قابل قبول در استاندارد FMVSS 304 به فولاد 4130، آلیاژهای آلومینیوم (AA6061 یا AA6010) و مواد کامپوزیتی که باید شامل الیاف شیشه‌ای، آرامید یا کربنی در یک رزین اپوکسی، پلی‌استر و فیل‌استر یا ترموپلاستیک باشد، محدود می‌شوند. آزمون‌های اصلی کیفیت طراحی در FMVSS 304 شامل سیکل فشار، انفجار و آتش‌سوزی می‌باشند. بازرسی چشمی، هر سه سال یا ۳۶۰۰۰ مایل طی مسافت (هر کدام زودتر اتفاق بیافتد) انجام می‌شود.

۳-۲ استاندارد ملی ایران

نخستین بار مجموعه استانداردهای اجزاء سیستم سوخت خودرو با گاز طبیعی فشرده شده در سال ۱۳۸۱، استاندارد مخازن گاز طبیعی فشرده پرفشار برای ذخیره بر روی خودرو در سال ۱۳۸۱ و استانداردهای سیستم سوخت خودرو با گاز طبیعی فشرده شده نیز در سال ۱۳۸۱ تهیه شد. این استانداردها براساس پیشنهادهای رسیده و بررسی و تایید کمیسیون‌های مربوط مورد تجدید نظر قرار گرفتند و در یکصد و چهل و پنجمین جلسه کمیته ملی استاندارد خودرو و نیروی محرکه مورخ ۸۳/۹/۲۳ تصویب شد. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین تجدیدنظر آنها استفاده کرد.

استاندارد ملی ایران به شماره ۷۵۹۸ با عنوان "خودروهای با سوخت گاز طبیعی فشرده (CNG) - ویژگیها و روش آزمون مجموعه قطعات گازسوز CNG و الزامات نصب آنها بر روی خودرو" جایگزین استانداردهای ۵۶۳۶ جلد ۱ الی ۱۹ با عنوان "اجزاء سیستم سوخت خودرو با سوخت گاز طبیعی فشرده‌شده"، ۶۳۰۶ و ۵۷۶۴ جلد ۱ و ۲ با عنوان "سیستم‌های سوخت خودرو با سوخت گاز طبیعی

فشرده شده" شده و پس از یکسال از تاریخ تصویب این استاندارد یعنی در شهریورماه سال ۱۳۸۵ استانداردهای فوق باطل اعلام می شوند.

فصل چهارم استاندارد ملی ایران به شماره ۷۵۹۸ دربرگیرنده مطالب مربوط مخازن CNG می باشد که بعنوان منبع اصلی استفاده می شود.

۳- تعیین مخزن با توجه به نوع خودرو

یکی از نکات مهم در طراحی خودروهای سبک گازسوز، طراحی، انتخاب و نصب صحیح یک مخزن می باشد. محدودیت های وزنی، قیمتی و فضای اشغال شده توسط این نوع مخازن در این خودروها اهمیت بسیار بالایی دارند. شکل ۴-۱ جانمایی های مختلف مخازن CNG را که در خودروی پراید بررسی شده اند، نشان می دهد. ذخیره گاز در مخازن کوچک، مشکلات فوق را تا حد زیادی حل می کند ولی موجب می شود تا نیاز به سوخت گیری مجدد در خودرو بشدت بالا رود و عملکرد چنین خودرویی مناسب نیست. وقتی به محدودیت های سوخت گیری مجدد خودرو (سوخت گیری های پی در پی) نیز بیاندیشیم مسأله طراحی یا انتخاب مناسب، از اهمیت بیشتری برخوردار می شود. در سیستم های دوگانه سوز یا خودروهایی که با دو نوع سوخت کار می کنند به علت وجود سوخت ثانویه در کنار گاز، این مسأله چندان بحرانی نیست و طراحی یا انتخاب، کمی ساده تر می شود زیرا امکان سوئیچ کردن بین سوخت گاز و سوخت مایع وجود دارد. به هر حال سوخت گیری های متوالی، زمانی که حجم مخزن ذخیره خودرو کوچک باشد، می تواند سبب استفاده دائمی مصرف کننده از گازوئیل یا بنزین در چنین خودروهایی شود و این امر مطلوب نیست. برای رانندگان خودروهای شخصی، معمولاً انگیزه اقتصادی برای جلوگیری از استفاده بنزین یا گازوئیل وجود دارد، حال آن که در مورد رانندگان خودروهای دولتی و عمومی چنین نیست و آن ها ترجیح می دهند که از بنزین یا گازوئیل استفاده کنند. میزان انرژی ذخیره شده در مخازن با فشار بالای CNG، به ترکیب گاز بستگی خواهد داشت و استاندارد عمومی خاصی در این زمینه وجود ندارد. مقیاس مفیدی که برای محاسبه تعداد مخازن می توان به کار برد، این است که هر لیتر مخزن، میزان ۱۸۰ گرم گاز طبیعی را نگهداری می کند.

نکته مهم دیگر این است که دمای گاز ذخیره شده معمولاً در نظر گرفته نمی شود اما به طور متعارف باید 15°C در نظر گرفته شود. در هنگام پر کردن مخزن، به دلیل بالا رفتن دمای گاز، حجم آن افزایش می یابد و در نتیجه، این امر سبب کاهش حجم مؤثر مخزن می شود. به طور میانگین خودرویی که موتور آن CC 1500 حجم دارد با یک مخزن ذخیره 60 لیتری حدود 180 تا 200 کیلومتر حرکت می کند. این مسأله در مورد خودروهای دوگانه سوز مناسب به نظر می رسد، مشروط بر اینکه اولاً توسعه جایگاههای سوخت گیری مجدد بخوبی انجام گیرد تا از این نظر مشکلی حاصل نگردد و ثانیاً اختلاف قیمت بین سوخت گازی و بنزین بنحوی باشد که راننده ترغیب شود از سوخت گاز استفاده کند. با افزایش تولید و تجربه های عملی خودروهای گازسوز، در دسترس بودن گستره وسیع تری از شکل و اندازه مخازن، توازن اقتصادی بین محدودیت ها حاصل خواهد شد. به هر حال مسأله حجم مخزن CNG و جانمایی آن یکی از جنبه های منفی سوخت های گازی و کاربرد آن در خودروها به شمار می آید.

با توجه به هزینه بالای مخازن گاز طبیعی و همچنین هزینه استهلاک قطعات مختلف خودرو که ناشی از افزودن وزن مخازن روی خودرو و غیره می باشد، انتخاب صحیح مخازن تأثیر انکارناپذیری بر مطالعات اقتصادی و حاشیه اطمینان بازگشت سرمایه، خواهد داشت. با نگرش جامع به مسأله جایگزینی سوخت های موجود خودروها با سوخت گاز طبیعی فشرده، انجام بررسی در خصوص تأثیر افزودن وزن مخازن بر پارامترهای مختلف عملکردی و سازه ای بررسی خاص خود را طلب می نماید. این بررسی به دلایل زیر لازم می باشد:

- وزن مخزن با قیمت آن نسبت عکس دارد بدین معنی که در حجم مساوی، مخزنی که وزن کمتری دارد، دارای قیمت بالاتری است.
- عمده ترین رقم سرمایه گذاری در پروژه جایگزینی، مربوط به مخازن می باشد.

موضوع مهم دیگر، میزان تحمیل اضافه وزن ناشی از هر یک از انواع مخازن و اثر آن در تغییر مرکز ثقل و سیستم تعلیق خودرو، بدون در نظر گرفتن قیمت آن است. نوع مخزن مورد استفاده با توجه به

محدودیت‌های وزنی و نیز حجم مخازن مورد نیاز برای پیمایش‌های مختلف و همچنین محدودیت حجمی صندوق عقب خودرو، مشخص می‌شود.



شکل ۴-۱: جانمایی مخازن در خودروی پراید

از دیگر پارامترهای مهم در انتخاب مخزن مناسب، انتخاب با توجه به حداقل پیمایش با یکبار سوخت‌گیری است. این مسأله در هیچ یک از استانداردهای موجود، مطرح نگردیده‌است و صرفاً کارخانه‌های

خودروساز با توجه به امکانات موجود از نظر جانمایی مخزن، حداکثر پیمایش قابل دستیابی و حداقل کردن تعداد مخازن، به جهت صرفه اقتصادی، به آن می‌پردازند.

به جهت اهمیت زیاد قیمت و وزن مخازن CNG، باید مقایسه قیمت و وزن نیز انجام شود. اگر خودرو دوگانه سوز باشد، وزن بنزین، گاز و مخزن از اهمیت زیادی برخوردار می‌گردد و می‌بایست از مخازن سبک کامپوزیتی استفاده کرد تا نسبت وزن به قدرت، کاهش یابد. با در نظر گرفتن وزن و ظرفیت در مخازن گاز طبیعی فشرده، هزینه مواد و تجهیزات و هزینه‌های تولید، می‌توان هزینه تولید مخازن را با هم مقایسه کرد.

۴- انواع مخازن CNG

مخازن CNG به چهار دسته کلی تقسیم می‌شوند که در ادامه به تشریح آن پرداخته می‌شود.

۴-۱ مخازن نوع اول CNG-I

نمونه‌هایی از مخازن CNG-I در شکل ۴-۱ نشان داده شده‌اند. این مخازن بدون درز و از جنس فولاد می‌باشند و ضخامت زیادی دارند طبیعتاً وزن آنها نیز بالا می‌باشد. از لوله یا بیلت ساخته میشوند و نسبت وزن به حجم آنها تقریباً برابر یک و گاهی هم سنگین تر می‌باشند.



شکل ۴-۱: مخازن نوع اول CNG-I

۲-۴ مخازن نوع دوم CNG-II

این نوع مخازن دارای یک لایه آستری از جنس فولاد یا آلومینیوم بدون درز است و قسمت استوانه‌ای این آستری، توسط الیاف شیشه، آرامید، کربن یا مخلوطی از آن‌ها که آغشته به رزین است به صورت محیطی پیچیده شده است. ساختار کامپوزیتی این مخازن، این امکان را به وجود می‌آورد که بتوان از ضخامت قسمت فلزی کاست و در نتیجه مخزن سبک‌تری به دست آورد. این مخازن در جهت شعاعی (به جز دو قسمت ابتدایی و انتهایی) تقویت شده‌اند. نسبت وزن به حجم آنها بین ۰/۸۵ - ۰/۷ می‌باشد. نمونه‌هایی از مخازن نوع دوم CNG-II در شکل ۲-۴ نشان داده شده‌اند. رزینی که در ساختار مخازن کامپوزیتی استفاده می‌شود، می‌تواند از نوع گرمانرم (Thermoplastic) یا گرماسخت (Thermoset) باشند.



شکل ۲-۴: مخازن نوع دوم CNG-II

۳-۴ مخازن نوع سوم CNG-III

این مخازن دارای یک لایه آستری از جنس فولاد یا آلومینیوم بدون درز بوده و تمام این لایه داخلی توسط الیاف شیشه، آرامید، کربن یا مخلوطی از آن‌ها که آغشته به رزین است در راستای محیطی و محوری پیچیده شده و این ساختار کامپوزیتی که به مخزن داده می‌شود، این امکان را به وجود می‌آورد که بتوان از ضخامت قسمت فلزی کاست و در نتیجه مخزن سبک‌تری را نسبت به مخازن نوع اول و دوم به دست آورد.

تقویت این مخازن با الیاف کامپوزیت در دو جهت، قابلیت تحمل فشار را نسبت به مخازن نوع دوم، افزایش می‌دهد. در واقع تفاوت این مخازن با مخازن نوع دوم در این است که دوسر آن نیز بوسیله رزین و الیاف با مواد مرکب تقویت می‌گردد. نسبت وزن به حجم آنها بین ۷- / ۴۵- / می‌باشد. نمونه‌هایی از مخازن CNG-III در شکل ۳-۴ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۳: مخازن نوع سوم CNG-III

۴-۴ مخازن نوع چهارم CNG-IV

این نوع مخازن دارای یک آستری از جنس پلیمر بدون درز هستند و تمام این لایه داخلی توسط الیاف شیشه، آرامید، کربن یا مخلوطی از آن‌ها که آغشته به رزین است پیچیده شده است. این ساختار تمام کامپوزیت از سبک‌ترین انواع مخازن CNG می‌باشد. این مخازن با الیاف کامپوزیت در جهات شعاعی و محوری تقویت شده‌اند. این گونه مخازن قابلیت تولید در ابعاد بزرگتر و با قطر بیشتر را دارند. مخازن نوع چهارم دارای کمترین وزن می‌باشند که حتی با سیستم سوخت بنزینی قابل مقایسه هستند. نسبت وزن به حجم آنها بین ۴۵- / ۳- / می‌باشد. در ساخت این نوع مخازن، از فن آوری بالایی استفاده شده و تعداد سازندگانی که از این نوع مخازن تولید می‌کنند بسیار محدود است.

این مخازن بسیار شبیه مخازن نوع سوم هستند و تنها از لحاظ نوع و جنس آسترها تفاوت دارند. این نوع از مخازن برای کاربرد در خودروهای گازسوز بسیار مناسب هستند و پتانسیل طراحی و ساخت برای عمرهای طولانی را دارا می‌باشند. در شکل ۴-۴ نمونه‌ای از این مخازن نشان داده شده‌است.



شکل ۴-۴: مخازن نوع چهارم CNG-IV

۵- مقایسه انواع مخازن

انواع مختلف مخازن CNG در شکل ۵-۱ به صورت مقایسه‌ای نشان داده شده‌اند. در این شکل نسبت وزن به حجم مخازن جهت مقایسه ارائه شده‌است.

از دیگر مشخصه‌های مخازن، راندمان حجمی^۱ مخزن می‌باشد که از تقسیم حجم داخلی مفید مخزن بر حجم کل مخزن به دست می‌آید. به طور معمول مخازنی که از مواد با مقاومت کششی بالا ساخته می‌شوند، راندمان حجمی بیشتری دارند، چراکه این مواد با ضخامت کمتر می‌توانند فشار بالاتری را تحمل نمایند. به طور مثال یک مخزن نوع اول دارای راندمان حجمی ۹۰٪ بوده و یک مخزن نوع سوم با الیاف شیشه، دارای راندمان حجمی ۷۴٪ می‌باشد. در جدول ۵-۱ نمونه‌هایی از طرح‌های مختلف مخازن، از نظر راندمان حجمی با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

¹ - Volumetric Efficiency

جدول ۵-۱: مقایسه راندمان حجمی مخازن گاز طبیعی



شکل ۵-۱: مقایسه مخازن ذخیره سازی گاز طبیعی

نوع مخزن	درصد راندمان حجمی
نوع ۱: فولادی	۹۱
نوع ۱: آلومینیومی	۷۸
نوع ۲: فولاد - شیشه	۸۵
نوع ۲: آلومینیوم - شیشه	۷۶
نوع ۳: آلومینیوم - شیشه	۷۴
نوع ۳: آلومینیوم - کربن	۸۴
نوع ۴: کربن	۸۲
نوع ۴: هیبرید	۷۷

جدول ۵-۲: مقایسه مخازن فولادی و کامپوزیتی

سیلندر کامپوزیت آلومینیوم و کربن	سیلندر فولادی	
۶۵	۶۵	ظرفیت (لیتر)
۱۹	۷۵	وزن (کیلوگرم)
۶۵۰	۲۶۰	قیمت (دلار)
هر ۳ سال یکبار	هر ۵ سال یکبار	زمان و دوره زبانی

۶- پارامترهای اساسی در انتخاب مخازن CNG

۱-۶ نسبت وزن به حجم معادل آب (Kg/ Lit.)

۲-۶ قیمت به حجم (قیمت ویژه مخزن) (\$/ Lit.)

یکی از مهمترین پارامترهای انتخاب میزان قیمت مخازن می باشد که در ترکیب با پارامترهای دیگر باید سعی در بهینه نمودن انتخاب نمود. در جدول زیر مقایسه قیمت واحد حجم انواع مخازن در سال ۲۰۰۰ میلادی بیان شده است.

جدول ۶-۱: مقایسه قیمت واحد حجم در انواع مخزن

نوع سیلندر	قیمت واحد حجم
CNG 1	2.65
CNG 2	5.23
CNG 3	11.91
CNG 4	9.47

۳-۶ ضریب ریسک یا ضریب مقاومت مخزن

ضریب ریسک انواع مخازن مطابق زیر است.

- ضریب ریسک مخازن تیپ اول: ۳۲
- ضریب ریسک مخازن تیپ دوم با لاینر فولادی: ۵۸
- ضریب ریسک مخازن تیپ دوم با لاینر آلومینیومی: ۶۸

- ضریب ریسک مخازن تیپ سوم (آلومینیوم و کامپوزیت): ۹۷
- ضریب ریسک مخازن تیپ چهارم فایبر کربنی: ۹۰
- ضریب ریسک مخازن تیپ چهارم هیبرید فایبر کربن و فایبر گلاس: ۸۷

۷- فناوری ساخت مخازن CNG

۷-۱ تولید مخازن نوع اول

سیلندرهای نوع اول CNG در ایستگاه‌های کاری متعددی ساخته می‌شوند. این مراحل که بعضی از آنها ممکن است تکرار هم شوند، مجموعاً در کنار هم خط تولید این محصولات را تشکیل می‌دهند. در یک چیدمان کلی از کارخانه تولید این نوع سیلندرهای، مواد اولیه شامل ورق‌های فولادی^۱، لوله‌های فولادی بدون درز^۲ و یا شمشال‌های فولادی^۳ از انبارهای مواد خام وارد سالن تولید شده و پس از انجام عملیات متعدد در نهایت به سیلندرهای نوع اول CNG تبدیل می‌شوند.

اگرچه این فرآیند نسبتاً طولانی است لیکن می‌توان آنرا به چند قسمت اصلی تقسیم نمود. این مراحل عبارتند از:

- فرآیند تولید لوله و یا پوکه فولادی (Seamless Steel Tube)
- فرآیند حدیده کاری غلتکی (Flow Forming)
- فرآیند شکل دادن برشی (Spinning)
- فرآیند عملیات حرارتی (Quenching & Hardening & Tempering)
- عملیات پاکسازی و پوشش سطوح (Shot Blasting & Coating)

^۱ Steel Plate

^۲ Seamless Steel Tube

^۳ Steel Billet

در فرآیند تولید این سیلندرها ابتدا بایستی لوله بدون درز و یا لوله ته بسته استوانه شکل (پوکه) تولید شود. سپس چنانچه لازم باشد، ضخامت جداره آن توسط دستگاه فلوفورمینگ^۱ یکنواخت و اندازه^۲ شود. از آنجایی که یک سر سیلندرها بایستی بسته شده و انتهای دیگر گردن دار^۳ شود، در ادامه از دستگاه اسپینینگ^۴ استفاده می شود. سیلندرها بایستی در طی فرآیند تولید تنش زدائی شده و سختی سطحی آنها نیز افزایش پیدا کند. برای رسیدن به این مهم از کوره های عملیات حرارتی استفاده می شود. بر روی سطوح مواد اولیه و سیلندرها طی مراحل تولید آلودگی های ناخواسته ای بوجود می آید که بایستی سطح سیلندرها توسط دستگاه شات بلاست^۵ تمیز شده و در نهایت رنگ آمیزی^۶ شود.

با توجه به اهمیت مراحل ۱ تا ۳ در ادامه به بررسی آنها بشکل مبسوط پرداخته می شود و سپس نمونه ای از فرآیند تولید سیلندرها که عمومیت بیشتری دارد با جزئیات مربوطه ارائه خواهد شد. لازم به ذکر است که ممکن است در بعضی از موارد بنا به نیاز هر شرکت ایستگاههای کاری جابجا شده و یا تکرار شوند.

۱-۱-۲ روش های تولید بدنه استوانه شکل فلزی

۱-۱-۱-۲ تولید استوانه فلزی با استفاده از ورق (Plate)

در این روش ورقهای فولادی از جنس 34CrMo4، AISI4130 یا AISI4140 با ضخامت های مورد نیاز خریداری شده و جنس و ضخامت آنها در انبار بر روی ورق روئی هر بسته حک می شود. پس از اینکه نوع سیلندر از جهت قطر، ضخامت و طول توسط قسمت مهندسی تعیین می شود، ورقهایی که بصورت چهارگوش هستند ابتدا توسط دستگاه تست اولتراسونیک^۷ بازرسی می شوند تا عیوب و ترک های

¹ Flow Forming

² Sizing

³ Neck

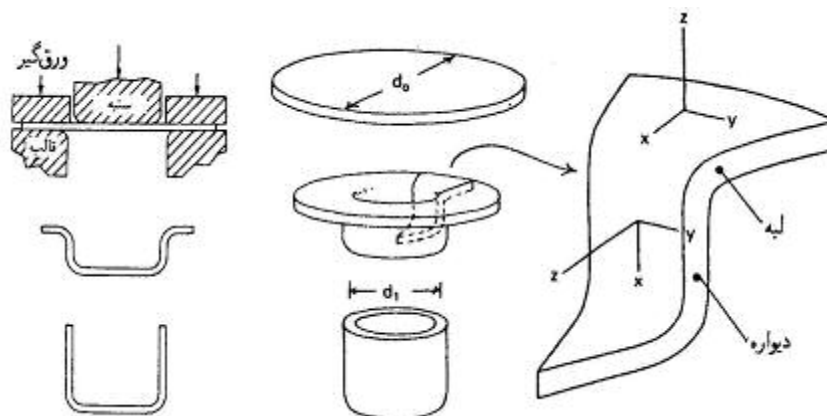
⁴ Spinning

⁵ Shot Blast

⁶ Coating

⁷ Ultrasonic Inspection

احتمالی قبل از تولید نمایان گردند. نظر به اینکه سیلندرها بصورت استوانه‌هایی با قطر و طول مشخصی می باشند مطابق محاسبات موجود قطعه خام اولیه بایستی بصورت دایره ای با قطر معین باشد. لذا در این قسمت دیسک‌ها توسط دستگاه برش لیزری و یا گیوتین‌های گردبر^۱، بریده می شوند. دیسک‌ها سپس به قسمت روانکاری^۲ حمل می شوند تا جهت انجام مراحل کشش بعدی به نحو مقتضی به روغن آغشته شوند. شایان ذکر است که در فرایندهای کشش عمیق، اصطکاک عاملی تعیین کننده در میزان کشش و یکنواختی ضخامت است. دیسک‌های آغشته به روغن سپس وارد مهم ترین مرحله از تولید بوسیله ورق می شوند. این فرایند که به کشش عمیق سرد^۳ موسوم است، با استفاده از پرس‌های هیدرولیکی مخصوص و قالب‌های - کشش اولیه انجام می شود (شکل ۷-۱). ابتدا دیسک‌ها توسط بازوی روبات مخصوصی بر روی قرارهای ماتریس قالب گذاشته می شود. تمام مراحل حمل ورق‌ها از انبار تا این قسمت توسط حمل کننده‌های مغناطیسی و یا با استفاده از مکنده‌های ایجاد خلاء انجام می شود. سپس با پایین آمدن میز بالایی پرس، ورق گیرها توسط جک‌های هیدرولیک پرس با سطح ورق درگیر می شوند. نیروی ورق گیرها متناسب با میزان کشش محاسبه شده و در اثر تجربه کالیبره می شوند. پس از درگیری ورق گیر سنبه ورق را به داخل ماتریس کشانده و ورق بشکل سنبه درخواهد آمد.



شکل ۷-۱: فرآیند کشش عمیق

¹ Circular Cutting

² Lubrication

³ Cold Deep Drawing

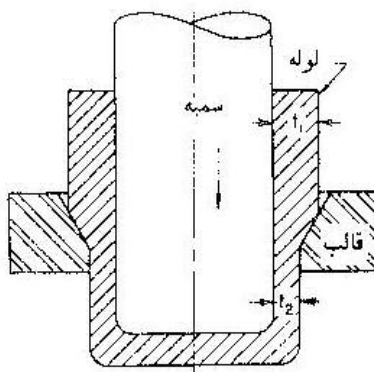
پس از این قسمت که ورق‌ها به پوک‌های فلزی تبدیل شده اند جهت تنش زدائی^۱ و یکنواخت سازی ساختار ملکولی وارد کوره آنیلینگ^۲ شده و تا دمای حدود ۹۰۰ درجه سانتیگراد گرم شده و به آرامی سرد می شوند. پوک‌ها پس از این مرحله مجدداً توسط دستگاه مخصوص و یا حوضچه‌های روغن، روغن کاری می شوند تا به قسمت بعدی کشش عمیق سرد بروند. در این مرحله پوک‌ها بدون استفاده از ورق گیر توسط سنبه‌هایی با طول بیشتر ولی با قطر کمتر از مرحله قبلی کشیده می شوند. پوک‌ها در این قسمت طولیتر و باریکتر می گردند. تعداد ایستگاههای کشش عمیق با توجه به حد کشش ورقها^۳ (LDR) بدقت محاسبه می شوند و فرایند کشش و تنش زدائی براساس آن تکرار می شوند.

پوک‌ها پس از رسیدن به قطر و طول نهایی خود بایستی از نظر ضخامت جداره و یکنواختی با محاسبات طراحی سیلندرها مطابق باشند. لذا در این قسمت پوک‌ها وارد دستگاه فلو فورمینگ می شوند. در این دستگاه ضخامت جداره علاوه بر آنکه به حد مطلوب می رسد، یکنواخت نیز می گردد. در فرایند تولید سیلندر با ورق می توان بجای استفاده از دستگاه گران قیمت فلو فورمینگ از روش اتوکاری استفاده نمود. در فرایند اتوکاری جداره سیلندرها با استفاده از فرایند کشش یکنواخت شده و به حد مطلوب می رسد. اتوکاری فرایندی است که طی آن مطابق شکل ۷-۲ ضخامت دیواره ی یک استوانه را با عبور از میان سنبه و قالبی که فاصله آزاد آن از ضخامت اصلی دیواره استوانه کمتر است، کاهش می دهند. در اثر فشار سنبه دیواره استوانه کش آمده و در نتیجه از ضخامت آن کاسته می شود، در حالی که ضخامت کف استوانه بدون تغییر باقی می ماند. لازمه انجام این فرایند آن است که استوانه ته بسته (پوک) باشد. معمول ترین فرآورده‌های این روش قوطی‌های نوشابه است.

¹ Stress Relieving

² Annealing

³ Limited drawing Ratio



شکل ۷-۲: فرآیند اتوکاری

تهیه پوک‌های فلزی از لوله (Tube) ۲-۱-۱-۷

در این روش معمولاً لوله‌های فولادی بدون درز از جنس 34CrMo4 مطابق با اقطار خارجی سیلندرها از شرکت‌های سازنده خریداری می‌شوند. لوله‌ها بصورت دسته‌هایی که بطور منظم بر روی هم چیده شده‌اند انبار می‌شوند و در صورت نیاز توسط جرثقیل‌های سقفی چنگال دار و یا مغناطیسی به سالن تولید حمل می‌شوند. سپس مطابق طول بخصوصی که به طول حدی^۱ معروف است در قسمت برش توسط اره‌های تسمه ای^۲ بریده می‌شوند. اندازه یاد شده براساس تجربیات و محاسبات هر شرکت برای سیلندرهایی با طول‌های مختلف بدست می‌آید و در واقع جزء دانش فنی تولید کنندگان سیلندرها می‌باشد.

لوله‌ها پس از مرحله برش به قسمت اسپینینگ می‌روند. در این مرحله پس از اینکه سر لوله‌ها بشدت گداخته می‌شوند توسط دستگاه برنامه پذیر اسپینینگ^۳ بسته شده و به شکل تقریباً کروی درمی‌آیند. اساس کار این دستگاه شکل دادن فلز گداخته شده مطابق الگوی مورد نظر می‌باشد. ته لوله‌ها که هم اینک تبدیل به پوک‌های فلزی شده‌اند در مرحله بعدی توسط پرس‌های هیدرولیکی افقی به شکل پروفیل نهایی درآمده و کوبیده می‌شود.

¹ Margin Length² Band Saw³ CNC Spinning

پوکه‌ها پس از این مرحله جهت کاهش و یکنواخت شدن ضخامت در حد تیرانس مطلوب به قسمت فلوپورمینگ می‌روند. این مرحله چنانچه وزن سیلندرها مهم باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. باتوجه به اینکه ضخامت لوله‌ها یکنواخت بوده و از اندازه مورد نیاز در طراحی بیشتر هستند چنانچه نیازی به اعمال تیرانسه‌های کوچک و کاهش ضخامت آن بمنظور کاهش وزن سیلندرها نباشد، نیازی به استفاده از دستگاه گران‌قیمت فلوپورمینگ نمی‌باشد. عملیات ساخت لوله‌های بدون درز فولادی بسیار پیچیده می‌باشد و برای تولید در مقیاس زیاد صنعتی مقرون به صرفه است لذا معمولاً شرکت‌های سازنده سیلندر در صورت کم بودن ظرفیت تولیدشان این لوله‌ها را از بازار خریداری می‌کنند

۳-۱-۱-۷ روش تولید پوکه با استفاده از شمشالهای چهارگوش فولادی (Billet)

یکی از روش‌های تهیه پوکه فلزی اکستروژن معکوس شمشالهای چهارگوش یا بیل^۱ می‌باشد. با این روش می‌توان قطعات پر و یا قطعات توخالی با شکلهای گوناگون را تولید کرد. اکستروژن یک فرآیند تغییر شکل یک پارچه می‌باشد که در آن ماده تحت فشار زیاد سیلان پیدا می‌کند. تغییر شکل عموماً در دمای محیط انجام می‌پذیرد (اکستروژن سرد)، زیرا دقت قطعات پرس کاری شده در این روش بالاست. فقط در مواردی که در شکل دهی سرد شرایط خاصی (نیرو زیاد پرس، درجه تغییر شکل بالا و غیره) موجود باشند قطعه خام تا دمای آهنگری گرم می‌شود (اکستروژن گرم). قطعاتی که با این روش تولید می‌شوند از دقت کمتری برخوردارند و به علت تشکیل پوسته، سطحی ناهموار دارند که در اغلب موارد بایستی عملیات ثانویه بر روی آن انجام پذیرد.

در این روش شمشالها با جنس 34CrMo4 پس از خریداری در انبارها نگهداری می‌شوند. سپس براساس طول مورد نیاز و یا همان طول حدی (مارجین) در قسمت برش بریده می‌شوند. میله‌ها سپس در کوره تا دمای حدود ۹۰۰ درجه سانتیگراد گداخته شده و در قسمت سنبه زنی داغ^۲ و فنجان^۳ با استفاده از

^۱ Billet

^۲ Hot Piercing

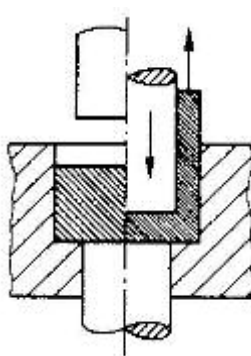
^۳ Cupping

پرسه‌های بسیار قوی حدود ۲۰۰۰ تنی تحت عمل اکستروژن معکوس گرم قرار می‌گیرند. حاصل این مرحله تولید پوک‌های استوانه‌ای گرد ته بسته می‌باشد.

پوک‌ها سپس در مرحله بعدی مجدداً وارد کوره شده و گداخته می‌شوند تا به مرحله کاهش ضخامت دیواره^۱ بروند. در این قسمت با استفاده از پرسه‌های قوی عمل کشش لوله‌ها انجام شده و ضخامت داخلی و خارجی پوک‌ها در حد مطلوب قرار می‌گیرند. بجای استفاده از کوره و عمل کشش لوله‌ها می‌توان از دستگاه مخصوصی که تقریباً مشابه دستگاه فلوفورمینگ است استفاده نمود. با این تفاوت که لوله‌ها ضمن حرارت دیدن از داخل، از سمت بیرونی خود اصطلاحاً سایز می‌شوند.

پس از این مرحله پوک‌های آماده شده بایستی عاری از هرگونه پوسته و زنگ شوند لذا در قسمت ساچمه زنی^۲ با استفاده از هوای فشرده و ماسه تمیز شده و سختی سطحی آنها نیز افزایش پیدا می‌کند. در فرآیند تولید پوک فلزی مطابق شکل (۲-۶) از اکستروژن معکوس^۳ سرد استفاده می‌شود. فرآیند اکستروژن بصورت معکوس یا مستقیم انجام می‌شود. در این روش جهت سیلان ماده برخلاف حرکت سنبه می‌باشد. با فشار سنبه فراتر از مرز سیلان، ماده به سیلان در می‌آید.

دقت قابل دستیابی در اکستروژن سرد در محدوده ۰/۰۵ تا ۰/۷۵ میلیمتر می‌باشد.



شکل ۷-۳: اکستروژن معکوس

^۱ Wall Thickness Reduction

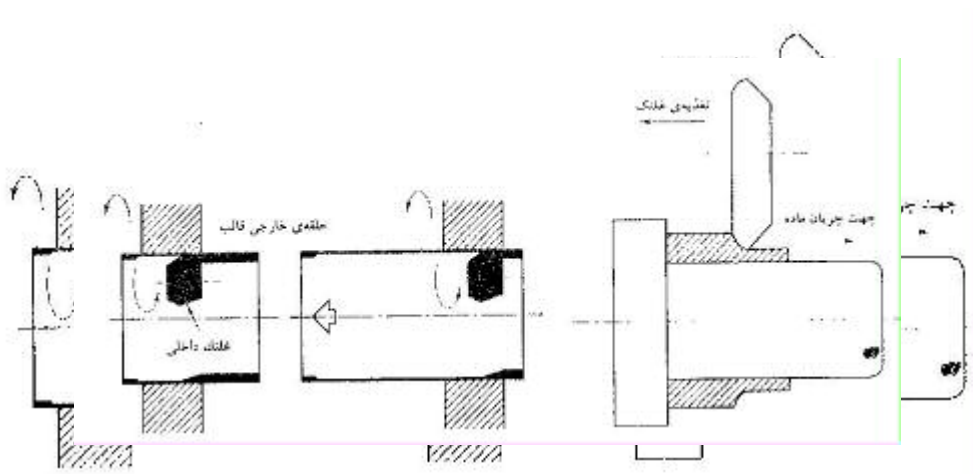
^۲ Shot Blast

^۳ Backward extrusion

قطعات تولید شده با اکستروژن سرد کیفیت سطحی بالایی داشته و لذا خاصیت اصطکاکی مناسبی دارند. بنابراین با فرض اینکه کیفیت سطح قالب خوب بوده و مواد روغنکاری و روش انتقال مواد روغنکاری درست انتخاب شده و نیز تغییر شکل در حد مجاز باقی می‌ماند، می‌توان گفت که در سطوحی که جریان ماده در آنها ایجاد می‌شود صافی سطح در محدوده $R_t = 5-10 \mu m$ بدست می‌آید.

۲-۱-۲ فرآیند حیده کاری غلتکی (Flow Forming)

تهیه استوانه‌های جدار نازک از لوله‌های با جدار کلفت تر طی فرایند حیده کاری غلتکی امکان پذیراست. همان گونه که در شکل ۴-۷ مشاهده می‌شود، غلتک‌های داخلی با فشردن ماده به یک حلقه محدود کننده خارجی، قطر داخلی را افزایش می‌دهند. با کاهش ضخامت دیواره، بر طول لوله افزوده می‌شود. در شکل ۵-۷ قطر داخلی ثابت نگه داشته شده است و غلتک خارجی ماده را به سمبه داخلی فشار می‌دهد. هر چند استوانه‌هایی به قطر ۲۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌متر (۰/۷۵ تا ۱۵۶ اینچ) با این روش تهیه می‌شوند، ولی کاربرد معمولی آن برای محدوده ۷۵ تا ۵۰۰ میلی‌متر (۳ تا ۲۰ اینچ) است.

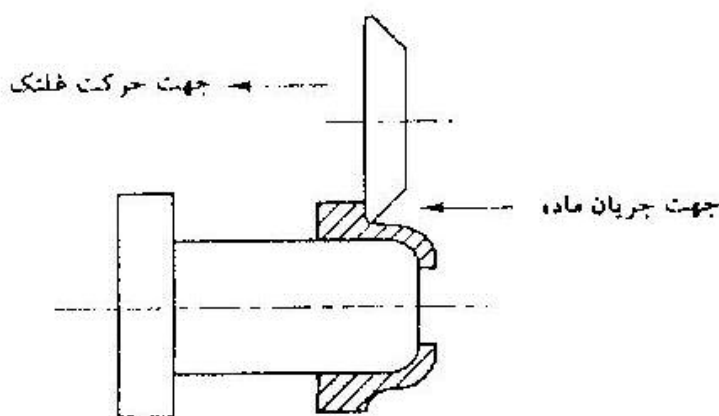


شکل ۴-۷: حیده کاری داخلی

شکل ۵-۷: حیده کاری خارجی

۳-۱-۷ فرآیند شکل دادن برشی (Spinning)

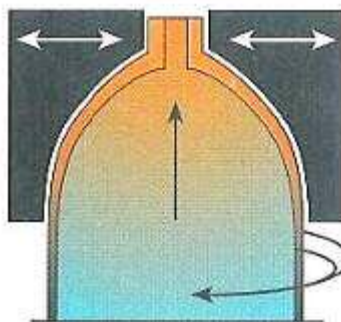
شکل دادن برشی یا چرخاندن برای تولید مخروط، نیم کره و شکل‌های مشابه به کار می‌رود. این فرایند نوع ساده فرایند چرخاندن است که طی آن فاصله هر جزء واقع بر صفحه شکل داده نشده تا محور چرخش ثابت می‌ماند. به این دلیل، جریان فلز فقط در اثر تغییر شکل برشی است. شکل‌های استوانه‌ای را می‌توان به هر دو روش مستقیم و غیر مستقیم شکل داد. همان طور که در شکل ۶-۷ دیده می‌شود، در روش مستقیم طول محصول توسط طول سمبه محدود می‌شود. نمایش ترسیمی روش غیر مستقیم ضرورت ندارد زیرا این روش عملاً همان فرایند حدیده کاری غلتکی است.



شکل ۶-۷: شکل دادن برشی مستقیم

شکل دادن استوانه‌های جدارنازک و بلند به روش ترمیم یا اصلاح^۱ که در شکل ۷-۷ نشان داده شده است، انجام می‌شود. این روش ترکیبی از شکل دادن برشی و چرخاندن معمولی است. در مرحله اول هیچ تغییر قطری در کار صورت نمی‌گیرد (شکل دادن برشی)، در حالی که در مراحل بعد شکل مخروطی به صورت استوانه‌ای کشیده می‌شود (چرخاندن).

¹ Flow Reform



شکل ۷-۷: شکل دهی به روش فلو-ریفورم برای استوانه‌های بلند

۷-۱-۴ فرآیند تولید سیلندر از پوکه فلزی

پس از اینکه بدنه استوانه شکل با یکی از سه روش لوله بدون درز، کشش ورق و اکستروژن شمشال چهار گوش آماده شد، در مرحله بعد کنترل جداره سیلندرها^۱ انجام خواهد شد. انتهای سیلندرها در این قسمت از یک سو بشکل تقریباً کروی بسته و از سمت دیگر باز هستند. مرحله بعدی فرایند تولید که به گردنه زنی^۲ معروف است، بستن سر سیلندرها و شکل دادن بگونه ای است که بتوان برآن تجهیزات اضافی مانند شیرآلات را نصب کرد.

در فرآیند اسپینینگ، سر باز سیلندرها پس از گداخته شدن، توسط دستگاه مخصوص کنترل عددی^۳ سه محور شکل داده می شود. بطور کلی پس از اینکه عملیات اسپینینگ به پایان می رسد، سر باز سیلندرها بسته شده و گلوگاه ویژه ای در ادامه آن ایجاد می شود. بنابراین بایستی در مرحله بعدی که به ماشین گردنه زنی معروف است گلوگاه مذکور توسط دستگاه تراش CNC سه محور، جداره و پیشانی تراشی و سپس سوراخکاری شده و جهت بستن شیر، قلاویز زده و رزوه تراشی گردد. پس از این مرحله سیلندرها که دیگر به شکل اصلی خود رسیده اند به قسمت عملیات حرارتی و تمپر^۴ می روند تا تحت

^۱ Shell inspection

^۲ Neck Spinning

^۳ CNC

^۴ Quenching & Tempering

سیکل رفت و برگشت عملیات حرارتی تنش زدائی شوند تا از ترک‌ها و یا تغییر شکل‌های ناخواسته جلوگیری شود.

این تنش‌ها که از نوع تنش‌های پسماند^۱ هستند از تنش‌های حرارتی مراحل قبلی نظیر اسپینینگ و تنش‌های مکانیکی ناشی از عملیات ماشین کاری بوجود آمده اند. در سیکل عملیات حرارتی این تنش‌ها با استفاده از کوره‌های الکتریکی برای سیکل رفت و روغن داغ جهت سیکل برگشت زدوده می شوند. سیلندرها تا درجه حرارت ۸۰۰ الی ۹۰۰ درجه سانتیگراد گرم شده و سپس در مدت زمان حدود ۵ ساعت سرد می شوند.

سیلندرهایی عاری از تنش‌های پسماند، در این مرحله به قسمت تمیز کاری داخلی و خارجی^۲ توسط هوای فشرده خواهند رفت. در این مرحله علاوه بر اینکه هر گونه ذرات اضافی و پوسته‌های زائد از سیلندرها زدوده می شوند، در اثر اصابت دانه‌های ریز ماسه سختی سطحی مناسبی نیز در آنها بوجود می‌آید. انجام آزمایش سختی سطحی^۳، مرحله بعدی خط تولید سیلندرها خواهد بود چرا که سیلندرها بایستی از سختی سطحی مناسبی برخوردار باشند تا بتواند در مقابل ضربات خارجی ناشی از جاسازی آنها در صندوق عقب مصون بمانند.

از دیگر مراحل بازرسی حین عملیات تولید بازرسی چشمی^۴ است که سیلندرها تحت بازرسی فیزیکی قرار خواهند گرفت. با توجه به اینکه سیلندر ممکن است عیوب ساختاری نظیر ترک‌های ریز و عدم یکنواختی داشته باشند و در حالت بازرسی فیزیکی دیده نشوند یک مرحله کنترل با استفاده از دستگاه التراسونیک^۵ انجام خواهد شد. در این مرحله کلیه سیلندرها مورد بازرسی التراسونیک قرار می گیرند و موارد دارای عیب از خط تولید خارج می شوند.

^۱ Residual stress

^۲ Internal & External Shot blasting

^۳ Hardness testing

^۴ Visual Inspection

^۵ Ultrasonic Inspection

ثبت مشخصات فنی و سازنده هر سیلندر الزامیست، لذا در مرحله بعدی مشخصات فنی سیلندر نظیر فشار کاری، فشار هیدروتست، نوع گاز داخل سیلندر به همراه نام شرکت سازنده و تاریخ تولید ثبت^۱ می گردد.

پس از قسمت مذکور سیلندرها بایستی تحت آزمایش هیدروتست^۲ قرار گیرند. در این مرحله هر سیلندر با آب پر شده و تا ۳۰۰ bar تحت فشار قرار می گیرد. چنانچه سیلندری بتواند از این مرحله با موفقیت عبور کند می تواند جهت استفاده به بازار عرضه شود.

با توجه به اینکه سیلندرها در معرض خوردگی با مواد شیمیایی و زنگ زدگی و یا عوامل فیزیکی قرار می گیرند بایستی جدار خارجی آنها بدقت رنگ آمیزی شود. در این مرحله سطوح خارجی سیلندر عموماً با رنگهای پودری و به روش الکترواستاتیک پوشش^۳ داده می شوند. روش کار در این قسمت بدین صورت است که سیلندرها توسط غلتکهای V شکل به ابتدای سالن رنگ آورده شده، سپس توسط نوار نقاله ای که در سقف سالن قرار دارد و بوسیله پیچهایی که در دهانه آنها پیچیده می شود حرکت کرده و در معرض پاشش افشانکهایی که در امتداد عمودی حرکت می کند قرار می گیرند. هر سیلندر در این زمان توسط نوار نقاله سقفی به دور خود حرکت می کند تا رنگ بطور یکنواخت بر روی بدنه آن پاشیده شود.

لازم به ذکر است که سیلندرها قبل از وارد شدن به قسمت رنگ، توسط هوای گرم کوره مخصوصی تا حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد گرم شده و پس از پاشش رنگ مجدداً خنک می شوند.

پس از این مرحله در مرحله نهایی دهانه سیلندرها توسط درپوشهای مخصوص و یا در صورت سفارش با شیرهای دستی و نیوماتیک بسته شده و گیرههای دستی برای حمل و نقل به آنها اضافه خواهد شد. سیلندرها مجدداً مورد بازرسی نهایی قرار گرفته و برای بسته بندی به بخش بسته بندی و حمل^۴ به انبار فرستاده می شوند. در تمام مراحل یاد شده جابجائی سیلندرها بر روی غلتکهای فلزی که همگی در جهات

^۱ Stamp Marking

^۲ Prof or Volumetric Expansion Hydro test

^۳ Surface Coating

^۴ Packing & Shipping

مختلف بر روی میزهای بخصوصی حرکت می کنند انجام می شود و چنانچه هدف حرکت سیلندرها بصورت طولی باشد نوع رولیکها از حالت تخت (استوانه ای) به حالت V شکل تغییر پیدا می کند.

۵-۱-۷ مقایسه مزایای روش های تولید سیلندر

همانگونه که قبلاً اشاره شد سیلندرها عموماً با استفاده از ورق، لوله بدون درز و شمشالهای چهارگوش فولادی تولید می شوند. هرکدام از روشهای فوق دارای مزایا و معایبی هستند که بررسی آنها با در نظر گرفتن شرایط و امکانات داخل کشور جهت ارزیابی احداث این واحدها حائز اهمیت خواهد بود. لذا در ادامه بطور اجمال به مزایا و معایب تولید سیلندر با استفاده از سه روش یاد شده پرداخته می شود.

۱-۵-۱-۷ مزایای تولید سیلندرها نوع اول با استفاده از ورق های فولادی

- با توجه به روش تولید و مواد اولیه مورد نیاز مزایای تولید سیلندر با استفاده از این روش عبارتند از:
 - امکان استفاده از خط تولید با تکنولوژی قابل دسترس جهت تولید بدنه استوانه شکل
 - باتوجه به اینکه خط تولید در این روش عموماً از پرسهای هیدرولیک و قالبهای کشش تشکیل می شود و در حال حاضر صنایع مختلف فعال در کشور از این تجهیزات استفاده نموده و حتی قابلیت تولید آنرا نیز دارند، راه اندازی خط تولید سیلندر با این روش دارای مزیت می باشد.
 - امکان تهیه مواد اولیه در داخل کشور
 - هم اکنون صنایع فولادسازی کشور در زمینه تولید ورق های فولادی فعال هستند. با توجه به بررسی های بعمل آمده امکان تولید ورق های مورد نیاز در کشور میسر است.
 - قابلیت انبارش بیشتر مواد اولیه
 - نظر به اینکه امکان قراردادن ورق های فولادی بصورت بسته ای بر روی یکدیگر بیشتر از سایر مواد اولیه می باشد، لذا در این روش به مساحت انبار کمتری نیاز می باشد.
 - امکان جابجایی و حمل و نقل راحت تر مواد اولیه

باتوجه به اینکه امکان جابجایی و راندمان حمل و نقل ورق‌های فولادی بالاتر از لوله‌های بدون درز می‌باشد، هزینه حمل و نقل خارج از کارخانه کمتر بوده و جابجایی آنها در داخل کارخانه نیز با سهولت بیشتری انجام خواهد شد.

- ارزانتر بودن مواد اولیه

باتوجه به اینکه لوله‌های فولادی بدون درز مورد استفاده در تولید این سیلندرها از خارج از کشور تهیه شده و تولید آن در انحصار چند شرکت محدود می‌باشد، امکان تهیه ارزان تر ورق‌های فولادی در داخل و یا حتی واردات آن بیشتر است.

- امکان دستیابی به دقت‌های بالاتر در محصولات

نظر به اینکه خط تولید در این روش صرفاً جهت تولید سیلندرهای CNG طراحی می‌شود و در مقابل تولید کنندگان لوله‌های بدون درز محصولات خود را جهت استفاده‌های عام تری تولید می‌کنند، تیرانسهای مدنظر در استانداردهای تولید این سیلندرها در روش تولید با ورق کاملاً قابل رعایت است.

- سبکتر بودن سیلندرهای تولید شده

باتوجه به اینکه امکان دسترسی به حداقل ضخامت استاندارد جداره سیلندرها در این روش بعلت بسته تر بودن تیرانسهای اعمال شده بر پروفیل سیلندرها بیشتر است لذا سیلندرهای تولید شده دارای وزن کمتری نسبت به نوع مشابه تولید شده از لوله می‌باشد. از آنجا که سبکتر بودن سیلندرهای استفاده شده در خودرو دارای مزایای فراوانی می‌باشد، لذا تولید با این روش مناسب تر است. بعنوان مثال یک سیلندر ۱۰۰ لیتری نوع اول با قطر ۴۰۵ mm ساخت یکی از کارخانجات معتبر با استفاده از لوله فولادی حدود ۱۱۷ kg و با استفاده از ورق فولادی در شرکتی دیگر نزدیک به ۸۲ kg وزن خواهد داشت.

۲-۵-۱-۷ مزایای تولید سیلندر نوع اول با استفاده از لوله‌های فولادی بدون درز

استفاده از این روش حائز مزایایی است که به آن اشاره می‌شود:

- هزینه کمتر تولید

امروزه لوله‌های فولادی بدون درز توسط چند شرکت اروپائی، ژاپنی و کره ای قابل تهیه است لذا باتوجه به امکان تهیه مواد اولیه آماده، فرآیند تولید بدنه استوانه شکل مورد نیاز نخواهد بود. بنابراین هزینه‌های جاری تولید، نظیر هزینه‌های پرسنلی و تسهیلات جانبی مثل آب، برق و گاز حذف خواهد شد. بنابراین چنانچه بتوان مواد اولیه را بصورت ارزان و دائم در این روش تأمین نمود، هزینه تولید سیلندرها پایین تر خواهد آمد.

- خط تولید کوتاه تر

باتوجه به اینکه از خط تولید سیلندرها، قسمتهای برش ورق، پرسها و عملیات حرارتی حذف خواهد شد، لذا خط تولید این محصول کوتاه تر شده و بعبارتی چیده مان (Layout) کارخانه در مساحت کمتری انجام خواهد شد.

- هزینه کمتر سرمایه گذاری اولیه

نظر به اینکه تجهیزات مربوط به تولید بدنه استوانه شکل از فرآیند تولید حذف خواهند شد، سرمایه گذاری اولیه جهت خرید تجهیزات، احداث سالن و ابنیه، زمین و تسهیلات جانبی حذف خواهد شد. بنابراین چنانچه در ابتدای راه اندازی کارخانه انجام سرمایه گذاری کمتری مدنظر باشد، این روش مناسبتر است.

- امکان تولید سیلندر در اقطار متنوع تر

باتوجه به اینکه لوله‌های بدون درز بصورت استاندارد در اقطار متعددی تولید می شوند، امکان ساخت سیلندر با تنوع بیشتر نسبت به روشهای دیگر وجود دارد. بنابراین چنانچه در محل نصب سیلندرها در اتومبیل محدودیتی وجود داشته باشد، قبول سفارش با اقطار دیگر امکان پذیر است.

- امکان تولید سیلندر با احجام متنوع تر

با توجه به اینکه در یک قطر یکسان حجم سیلندرها تابعی از طول قسمت استوانه ای شکل آنهاست، لذا می توان با برش لوله‌ها در طول مختلف سیلندرها با حجم متفاوت تولید نمود. این روش از آن جهت

دارای مزیت است که در روش‌های دیگر تغییر قطر و یا طول سیلندرها باعث تعویض قالب‌ها و یا حتی تجهیزات خط تولید خواهد شد.

مزایای تولید سیلندره‌ای نوع اول با استفاده از Billet ۳-۵-۱-۷

استفاده از مفتول‌های چهار گوش فولادی در تولید سیلندرها دارای مزایای فراوانی است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- امکان استفاده از مواد اولیه در دسترس
- با توجه به اینکه هم اکنون شرکت‌های فولاد سازی کشور امکان تولید بیلتهای با آلیاژ مورد نظر را دارا هستند و نیز می‌توان بسهولت این مواد را از خارج از کشور تأمین نمود، مشکلی بابت تهیه مواد اولیه موجود نمی‌باشد.
- امکان رسیدن به دقت‌های بالاتر و تلرانسهای بسته تر
- با توجه به اینکه در فرآیند اکستروژن امکان دست یابی به تلرانسهای ذکر شده در استانداردهای مربوط وجود دارد، لذا این روش از این لحاظ دارای مزیت می‌باشد.
- امکان تولید سیلندر با ضخامت جداره دلخواه
- فرآیند تولید لوله با استفاده از روش اکستروژن معکوس، فرایندی تحت کنترل بوده و می‌توان با انجام چند مرحله کشش و اتوکاری به ضخامت داخلی و خارجی مناسب جداره دست یافت.
- امکان انبارش بیشتر مواد اولیه
- با توجه به اینکه امکان قرارداد دادن مفتول‌های چهار گوش بر روی یکدیگر بیشتر از لوله‌های فولادی می‌باشد از این بابت نیاز به مساحت انبار کمتری می‌باشد.
- امکان حمل و نقل و جابجایی راحت‌تر مواد اولیه
- این روش نیز مانند روش تولید از ورق دارای راندمان بالاتری جهت حمل و نقل مواد اولیه می‌باشد.
- ارزانتر بودن مواد اولیه

باتوجه به اینکه امکان تهیه این مواد در داخل کشور وجود دارد، تهیه آنها ارزانتر از لوله‌های بدون درز فولادی می باشد.

۶-۱-۷ مقایسه معایب روش‌های تولید سیلندر

۱-۶-۱-۷ معایب استفاده از روش تولید سیلندر با ورق

این روش دارای معایبی نیز می باشد که در ادامه خواهد آمد.

- خط تولید طویل تر

با توجه به اینکه بدنه استوانه شکل تولید شده در این روش منحصراً جهت تولید سیلندر بکار می رود لذا بایستی خط تولید پوکه فلزی اولیه در داخل کارخانه راه اندازی شود و ازاین بابت نیاز به خط تولید طویل تری می باشد.

- سرمایه گذاری اولیه زیاد تر

با توجه به ضرورت ایجاد خط تولید بدنه استوانه شکل، نیاز به سرمایه گذاری اولیه زیادتری نسبت به روش تولید از لوله می باشد. شایان ذکر است که ایجاد خط تولید لوله بدون درز جهت صرفاً یک کارخانه تولید سیلندر مقرون به صرفه نمی باشد.

- هزینه تولید بالاتر

با توجه به بزرگتر بودن خط تولید و وجود تجهیزات بیشتر هزینه‌های جاری تولید نظیر هزینه‌های پرسنلی، تعمیرات و نگهداری، ساختمان و زمین و در نهایت تسهیلات جانبی تولید (Utilities)، بالاتر می باشد.

- دور ریز مواد اولیه

مواد اولیه مورد نیاز در این روش یک دیسک بریده شده از ورق چهار گوش فولادی با ضخامت معین می باشد. لذا درصد قابل ملاحظه ای از مواد اولیه دور ریز می شود.

۲-۶-۱-۷ معایب استفاده از روش تولید سیلندر با لوله

روش تولید سیلندر با استفاده از لوله نیز دارای معایبی است که باختصار به آن پرداخته می شود.

- سنگین شدن وزن سیلندر

با توجه به اینکه لوله‌های بدون درز تولید شده توسط کارخانجات لوله سازی برای استفاده‌های متعددی به بازار عرضه می شوند، لذا ضخامت بدنه آنها بیشتر از میزان مورد نیاز در ساخت سیلندرها می باشد. بنابراین وزن سیلندرها تولید شده بیشتر خواهد شد. البته جهت کاهش این ضخامت در بعضی از شرکتها از دستگاه فلوپورمینگ استفاده می شود که علاوه بر هزینه بالای خرید، از هزینه تعمیرات و نگهداری بالایی نیز برخوردار است.

- دور ریز مواد اولیه

با توجه به اینکه برای تولید سیلندر با ابعاد مختلف با قطر ثابت، طول بخصوص از لوله مدنظر است، لذا لوله‌ها به اندازه‌های متفاوتی برش خواهند خورد. از آنجای که لوله‌ها عموماً در شاخه‌های ۶ یا ۱۲ متری تولید می شوند، از هر شاخه مقداری از آن بلااستفاده می ماند. درصد متوسط دور ریز در این روش حدود ۱۰٪ می باشد.

- عدم سهولت در تأمین مواد اولیه

لوله‌های بدون درز در کارخانجات ویژه ای تولید می شوند. این کارخانه‌ها که عموماً در کشورهای غربی مشغول بکار هستند معمولاً محصولات خود را در محدوده خاصی به بازار عرضه می کنند و لذا تولید در خارج از محدود تولیدات استاندارد آنها بسیار گران و یا عملاً امکان پذیر نخواهد بود. از طرف دیگر سوابق نشان داده است که خرید محصولات استاندارد آنها نیز تاکنون با مشکلات عدیده ای مواجه بوده است.

۳-۶-۱-۷ معایب استفاده از روش تولید با Billet

معایب تولید با این روش عبارتند از:

- محدودیت در تولید سیلندرها با اقطار بزرگ ($d < 230 \text{ mm}$)

با توجه به نیاز عملیات اکستروژن به نیروی بسیار زیاد سنبه عملاً تولید لوله با این روش برای اقطار بزرگ مقرون به صرفه نمی باشد.

- محدودیت در تولید سیلندرهایی با طول زیاد ($L < 1000 \text{ mm}$)
 - با توجه به محدودیت در طول سنبه، طول سیلندرها هم نمی تواند عملاً از حد بخصوصی بزرگتر شود.
 - سرمایه گذاری اولیه زیاد
- با توجه به اینکه پروسه تولید جداره استوانه شکل با این روش نیازمند استفاده از تجهیزات خاصی نظیر دستگاه Cupping & Hot Piercing و نیز کوره های مخصوص می باشد، سرمایه گذاری اولیه جهت خرید تجهیزات، احداث ساختمان و خرید زمین نسبت به روش تولید از لوله، بیشتر خواهد بود.
- هزینه تولید بالاتر

با توجه به اضافه شدن مراحل تولید جداره استوانه شکل، هزینه های پرسنلی، تعمیرات و نگهداری، تسهیلات جانبی مرتبط با این قسمت به سایر هزینه های تولید اضافه خواهد شد.

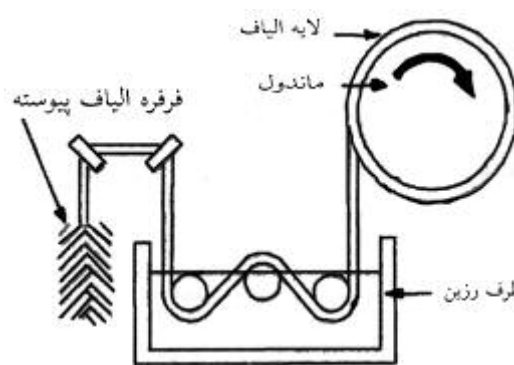
۲-۲ تولید مخازن نوع دوم

تولید مخازن نوع دوم شامل دو مرحله اصلی می باشد. در مرحله اول آستری مخازن با استفاده از روش هایی که در تولید مخازن نوع ۱ مطرح شدند از فولاد یا آلومینیوم تولید می شود و در مرحله دوم این لایه آستری با الیاف پیچی پیوسته تقویت می شود. در این نوع مخازن لایه الیاف فقط به صورت محیطی پیچیده می شود و در نتیجه قسمتی از فشار داخلی را تحمل می نماید.

الیاف پیچی در مخازن نوع دوم به صورت محیطی مانند شکل ۷-۸ انجام می شود. همان طور که در این شکل مشاهده می شود الیاف که معمولاً از جنس شیشه، کربن، آرامید یا هیبرید هستند در حوضچه های رزین، به رزین آغشته شده و به صورت شعاعی با دستگاه مخصوص الیاف پیچی به محیط آستری ها پیچیده می شوند. پس از این که الیاف پیچی تمام شد، مواد کامپوزیتی با استفاده از پروفیل دمایی کنترل شده و با

پرکردن مخزن بین ۱۰۵ تا ۱۱۵ درصد مقدار حداقل آزمون فشار، اتوفرتاژ^۱ می‌شوند. رزین‌ها یکی از عوامل بسیار مهم در کارکرد مخازن کامپوزیتی می‌باشند. در ابتدای شروع گسیختگی، مواد ماتریسی که به الیاف اضافه می‌شوند نیروهای وارده را به اطراف منتقل می‌کنند، بنابراین باید استحکام رزین‌ها با استحکام الیاف هم‌خوانی داشته باشد. در طراحی و انجام فرآیند الیاف‌پیچی باید به موارد زیر توجه کرد:

- مواد الیاف، خواص مکانیکی و مشخصات مورد نیاز
- ترکیب الیاف، هندسه رشته‌ها و عملکرد آن‌ها
- سیستم رزین، اجزای اصلی و مشخصات آن‌ها درجایی که به کار می‌روند.
- سیستم رزین، پخت مواد و مشخصات آن‌ها درجایی که به کار می‌روند.
- سیستم رزین، تسریع کننده‌ها، مواد و مشخصات آن‌ها درجایی که به کار می‌روند.
- ترکیب مواد پیچیده‌شده
- فرآیندهای پخت، دماها، دوره زمانی و تفرانس‌ها



شکل ۷-۸: چگونگی الیاف پیچی به صورت محیطی

۳-۲ تولید مخازن نوع سوم

آستری این نوع مخازن یک جداره نازک آلومینیومی می‌باشد که روی آن به صورت محیطی و محوری به‌طور کامل پیچیده شده است^۲. بنابراین این لایه‌های کامپوزیتی قادر به تحمل نیروها هم در جهت شعاعی

^۱ - Autofrettage

^۲ - Fully Wrapped

و هم در جهت محوری خواهند بود. برای تولید آستری از لوله، ابتدا لوله آلومینیومی به وسیله اکستروژن داغ^۱ مفتول آلومینیومی تهیه می شود و سپس سایر مراحل مانند تولید مخازن نوع ۱ از لوله می باشد.

دقت در الیاف پیچی سریع پیوسته طبق یک برنامه از پیش تعیین شده، پایه و اساس فرایند الیاف پیچی می باشد. این فرایند به طراحان این توانایی را می دهد تا با استفاده از قراردادن دقیق خصوصیات مکانیکی در مکان های مورد نیاز، مخازنی با استحکام بالا تولید کنند. همچنین این مسأله به طراحان اجازه می دهد تا مقاومت گرمایی، استحکام و سختی مواد را بهینه نمایند. مطالب فوق به این معنی است که مهندسان قدرت تغییر متغیرهای لازم را برای دستیابی به خصوصیتی با خواست مشتریان خواهند داشت.

ماشین الیاف پیچی، یک ماشین کنترل عددی کامپیوتری (CNC) می باشد و از سیستم خودکار با کارایی بالایی برخوردار است، به طوری که راه اندازی و عمل کردن آن می تواند در چند دقیقه انجام گردد. این دستگاه محدود به الیاف پیچی در شکل های استوانه ای نمی باشد بلکه می توان هر شکل قابل تصویری را از طریق این دستگاه الیاف پیچی نمود.

تجهیزات دستگاه از مواد مختلفی مانند آهن، آلومینیوم، سرامیک و کامپوزیت ساخته می شوند. در دستگاه های پیشرفته می توان الیاف پیچی با ماتریس رزین و الیاف پخته شده را نه تنها در دمای اتاق بلکه بسته به نوع ماتریس رزین به کار رفته حتی در کوره ای با یک پروفیل دمایی کنترل شده انجام داد. قطر و خروج از مرکز محور بخوبی کنترل می شود تا با نگهداری سطح مشترک کامپوزیت و اجزای دستگاه بتوان هم مرکزی کامپوزیت نهایی را حفظ کرد و از کج شدن آن در امتداد طول جلوگیری نمود.

در ابتدا برای عملیات الیاف پیچی، قرقره های الیاف خشک طوری تنظیم می شوند که تنش مشخصی در الیاف به وجود آید. این کشیدگی، در پارامترهای مقاومت و سختی کامپوزیت تأثیر دارد. پس از این مرحله الیاف از حوضچه رزین عبور کرده و به رزین آغشته می شوند، سپس الیاف کشیده شده و عریض می شوند. در این مرحله الیاف آماده پیچیده شدن می باشند. الیاف بعد از خروج از حمام رزین توسط دستگاه

¹ - Hot Extrusion

الیاف پیچی CNC روی مخزن پیچیده می‌شوند. این پیچش بسته به نوع مخزن می‌تواند محیطی، محوری، مارپیچی^۱ (ضربدری) یا ترکیبی از آن‌ها باشد. پس از پایان یافتن الیاف پیچی، مخازن از دستگاه خارج می‌شوند. در این مرحله پخت روی مخزن اجرا می‌شود. پخت رزین ماتریس، اثر مستقیمی بر عملکرد ساختار کامپوزیت دارد. برای بهینه‌سازی عملکرد کامپوزیت، زمان و دمای پخت کنترل می‌شوند. عمل کنترل توسط کنترل‌کننده‌های الکتریکی انجام می‌شود و دمای دیگ پخت را به صورت کنترل شده‌ای در دماهای مورد نظر نگه می‌دارند. این عمل تضمین می‌کند که ساختار کامپوزیتی به خصوصیات تعیین شده در طراحی رسیده‌است. بعد از اتمام مرحله پخت مخازن از دیگ پخت خارج می‌شوند و برای بسته‌بندی آماده می‌شوند. انجام این مراحل، مخازنی کم‌وزن و با کارایی بالا را نتیجه می‌دهد.

۴-۲ تولید مخازن نوع چهارم

آستری این نوع از مخازن برخلاف مخازن نوع ۱، ۲ و ۳ به جای فولاد یا آلومینیوم از جنس پلیمرهایی نظیر پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) می‌باشد. از آنجاکه آستری این مخازن پلیمری است، بنابراین باید نافی برای نصب شیر و سایر متعلقات از جنس فلز باشد. طراحی و ساخت مناسب این نافی از نشتی گاز در فشارهای بالا جلوگیری کرده و باعث آب‌بندی قسمت فلزی و پلیمری می‌شود. می‌توان از چسب برای آب‌بندی بهتر این قسمت استفاده کرد. برای تولید قسمت پلیمری از قالب‌گیری چرخشی استفاده می‌شود. در این روش قالب‌ها با زاویه ۴۵ درجه چرخانده می‌شوند و حرارت داده می‌شوند تا گلوله‌های پلیمری ذوب‌شده و به شکل نیم‌استوانه درآیند. این عملیات برای نیمه دیگر نیز تکرار می‌شود. بعد از این مراحل، قالب به صورت افقی قرار می‌گیرد و حرارت داده می‌شود تا قسمت استوانه‌ای آن، شکل گیرد. وظیفه آستری، فراهم کردن یک مانع در مقابل فشار گاز می‌باشد. آستری به عنوان یک جزء ساختاری در نظر گرفته نمی‌شود و با توجه به مزیت پایین بودن مدول الاستیسیته آن قادر خواهد بود همه بار را به پوسته ساختاری مخزن

^۱ - Helical

منتقل کند. یکی از فواید اولیه آستر پلاستیکی حذف محدودیت‌های آسترهای فلزی در وضعیت خستگی‌های ناشی از سیکل عمری می‌باشد.

پوسته کامپوزیتی ساختاری، یک کامپوزیت الیافی- اپوکسی پیوسته است که با الیاف پیچی تولید می‌شود. ساختمان اصلی پوسته این مخازن یک ساختار هیبرید از الیاف کربن و شیشه می‌باشد. الیاف کربن عملکرد مقاومتی بالایی نسبت به وزن دارند، همچنین الیاف کربن خصوصیات از قبیل، مقاومت عالی در برابر خستگی، غیرحساس بودن به اثرات محیطی و عملکرد با اطمینان بالایی را دارا می‌باشند. الیاف شیشه خاصیت دوام مخازن را افزایش می‌دهد. این دو ماده یکدیگر را تقویت کرده و یک ساختار بادوام و با کارایی بالا را به وجود می‌آورند. روش الیاف پیچی مانند آنچه که برای مخازن نوع سوم ارائه شد، می‌باشد.

طرح شماتیکی از چگونگی الیاف پیچی به صورت محوری و محیطی در شکل ۷-۹ برای مخازن نوع ۳ و ۴ آمده است.



شکل ۷-۹: طرح شماتیکی از الیاف پیچی کامپوزیتی به دور لایه آستری

۸- شرایط کاری مخازن

۱-۸ عمر کاری

طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۷۵۹۸ عمر مفید مخزن باید توسط کارخانه سازنده تعریف شود که ممکن است در موارد کاربردی مختلف متفاوت باشد. محدوده عمر مفید مخزن از ۱۰۰۰ دفعه پرکردن مخزن در سال و تا حداقل ۱۵۰۰۰ دفعه پرکردن است. این عمر مفید باید حداکثر ۲۰ سال باشد.

عمر مخازن فلزی و مخازن با لایه داخلی فلزی، براساس نرخ رشد ترک خستگی^۱ تعیین می‌شود. به منظور حصول اطمینان از عدم وجود آن دسته از ترک‌هایی^۲ که اندازه آنها از حداکثر مقدار مجاز فراتر رفته است، باید از روش آزمون التراسونیک یا روشهای مشابه استفاده کرد. این روش برای سازندگان مخازن مورد استفاده در خودروهای با سوخت گاز طبیعی فشرده، امکان طراحی و ساخت بهینه را فراهم می‌سازد.

«عمر/یمن»^۳ مخازن تمام کامپوزیتی که لایه داخلی غیرفلزی آنها تحت بار قرار نمی‌گیرد، توسط روش‌های مناسب طراحی، آزمون کیفیت سنجی طراحی و کنترل‌های تولید حاصل می‌شود.

در مخازن تمام مرکبی که دارای لایه داخلی غیر فلزی هستند و هیچ باری به آنها وارد نمی‌شود، عمر کاری باید با توجه به روش‌های متناسب طراحی، آزمون ارزیابی طراحی و کنترل‌های ساخت تعیین شود

۲-۸ حداکثر فشارها

در طراحی مخازن مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۷۵۹۸ فشار کاری ۲۰۰ بار در دمای تعادل ۱۵ درجه سلسیوس گاز طبیعی تثبیت شده است و برای حداکثر فشار پر شدن ۲۶۰ بار پایه ریزی شده است. می‌توان با تصحیح فشار با ضریب مناسب، سایر فشارها را نیز سازگار کرد مثلاً دریک سیستم با فشار کاری

^۱ - Rate of fatigue crack growth

^۲ - Flaws

^۳ - Safe life

۲۵۰ بار، فشارها باید در ۱/۲۵ ضرب شوند. به جز در شرایطی که فشارها به این صورت تنظیم شوند، مخازن باید طوری طراحی شوند که مناسب محدوده‌های فشار زیر باشند.

- فشاری که در دمای تعادل ۱۵ درجه سلسیوس در ۲۰۰ بار به تعادل برسد.
- بدون توجه به شرایط پر کردن یا دما، حداکثر فشار نباید از ۲۶۰ بار تجاوز کند.

۳-۸ حداکثر تعداد چرخه پر کردن مخزن

مخازن باید بگونه‌ای طراحی شوند که بتوانند بیش از ۱۰۰۰ دفعه پر شدن در سال توسط گاز دارای فشار تثبیت شده ۲۰ مگاپاسکال در دمای ۱۵ درجه سلسیوس را تحمل نمایند.

۴-۸ محدوده دما

۱-۴-۸ دمای گاز

مطابق استاندارد مخازن باید به گونه ای طراحی شوند تا برای محدوده دمای گاز زیر مناسب باشند:

- دمای تثبیت شده گاز در مخزن، می تواند از ۴۰- تا ۶۵+ درجه سلسیوس تغییر نماید.
- دماهای گاز که در حین پر شدن و تخلیه ایجاد شده و ممکن است از این محدوده فراتر رود

۲-۴-۸ دمای مخزن

مطابق استاندارد مخازن باید طوری طراحی شوند که برای محدوده دمای مواد زیر مناسب باشند.

- دمای بدنه مخزن می تواند ۴۰- درجه سلسیوس الی ۸۲+ درجه سلسیوس متغیر باشد.
- دمای بیش از ۶۵+ درجه سلسیوس باید به اندازه کافی موضعی و یا به مدت زمان کوتاه اعمال شود که دمای گاز داخل مخزن هرگز از ۶۵+ درجه سلسیوس بیشتر نشود مگر در شرایطی که در بند (بالا) ذکر شده است.

۵-۸ ترکیب گاز

مطابق استاندارد مخازن باید به گونه ای طراحی شوند که تحمل پر شدن با گاز طبیعی با مشخصات گاز خشک یا گاز مرطوب که در زیر تعریف شده اند را داشته باشند. البته متانول و یا گلیکول نباید به صورت عمدی به گاز طبیعی اضافه شوند.

۱-۵-۸ گاز خشک

مقدار بخار آب موجود در این گاز باید کمتر از ۳۲ میلی گرم در متر مکعب محدود باشد (یعنی دمای نقطه شبنم در فشار ۲۰۰ بار ۹- درجه سلسیوس است). حداکثر حدود مواد تشکیل دهنده باید مقادیر زیر باشد:

جدول ۱-۸: محدوده مواد تشکیل دهنده گاز خشک

۲۳ میلی گرم در هر متر مکعب	سولفید هیدروژن و سایر سولفیدهای محلول
حداکثر ۱ درصد (نسبت حجمی)	اکسیژن
حداکثر ۲ درصد (نسبت حجمی)	هیدروژن، وقتی مخزن از فولادی ساخته شده باشد که مقاومت کششی نهایی آن بیش از ۹۵۰ مگا پاسکال باشد.

۲-۵-۸ گاز مرطوب

به گازی که مقدار بخار آب موجود در آن بالاتر از حد مذکور در گاز خشک باشد گاز مرطوب اطلاق شده که باید با محدودیت‌های ترکیبی ذیل انطباق داشته باشد :

جدول ۲-۸: محدوده مواد تشکیل دهنده گاز مرطوب

۲۳ میلی گرم در هر متر مکعب	سولفید هیدروژن و سایر سولفیدهای محلول
----------------------------	---------------------------------------

اکسیژن	حداکثر ۱ درصد (نسبت حجمی)
دی اکسید کربن	حداکثر ۴ درصد (نسبت حجمی)
هیدروژن	حداکثر ۰/۱ درصد (نسبت حجمی)

۶-۸ سطوح خارجی

مطابق استاندارد لزومی ندارد مخازن برای قرار گرفتن پیوسته در برابر حمله مواد شیمیایی و یا آسیب‌های مکانیکی طراحی شوند. مثالهای از این آسیب‌ها عبارتند از نشت مواد شیمیایی از قسمت بار خودرو یا آسیب دیدگی ناشی از ساییدگی جدی در اثر شرایط جاده ای. اما سطوح خارجی مخازن باید طوری طراحی شوند که اگر نصب مخزن طبق دستورالعمل‌های همراه آن انجام شده باشد، مخزن تحت شرایط زیر در برابر آثار نامطلوب مقاومت کند.

- آب، غوطه ور شدن منقطع در داخل آب و یا پاشیده شدن آب جاده روی آن
- نمک، در صورتی که خودرو در مناطق ساحلی کار می کند و یا جایی حرکت می کند که برای آب کردن یخ‌ها از نمک استفاده می شود.
- تابش پرتو ماوراء بنفش خورشید
- برخورد شن و سنگ
- مایع‌هایی که معمولاً در خودرو یافت و استفاده می شود از قبیل، بنزین، روغن هیدرولیک، اسید باتری، گلیکول و روغن

۹- ترکیب فولاد

طبق استاندارد فولادهای مورد استفاده در مخازن یا لایه‌های داخلی باید از نوع آرام شده^۱ در اثر افزودن آلومینیوم یا سیلیکون بوده و با روشی که به عمدتاً دانه‌ریز شدن فولاد می‌انجامد تولید گردند.

ترکیب شیمیایی تمام فولادها باید حداقل با عناصر ذیل بیان و مشخص گردد :

الف - درصد کربن، منگنز، آلومینیوم و سیلیکون برای تمام فولادها

ب - درصد نیکل، کرم، مولیبدن، بور، وانادیم و هرگونه عنصر آلیاژی دیگر که عمدتاً به فولاد آلیاژی اضافه می‌شود.

در ترکیب شیمیایی مذاب باید محدوده‌های مذکور در جدول ۹-۱ رعایت گردد.

جدول ۹-۱ - بیشترین درصد گوگرد و فسفر مجاز در ترکیب فولاد

مقاومت کششی	کمتر از ۹۵۰ مگاپاسکال	بزرگتر یا مساوی ۹۵۰ مگاپاسکال
گوگرد	۰/۰۲۰ درصد	۰/۰۱۰ درصد
فسفر	۰/۰۲۰ درصد	۰/۰۲۰ درصد
گوگرد و فسفر	۰/۰۳۰ درصد	۰/۰۲۵ درصد

^۱ - فولاد آرام یا کشته (killed)، فولادی است که اکسیژن محلول در آن به کمک افزودن موادی مثل آلومینیوم، منگنز یا سیلیکون تقلیل یافته و در نتیجه از واکنش بین اکسیژن و کربن جلوگیری می‌شود.

در صورت استفاده از فولاد کربن - بور، باید در هر عملیات حرارتی فولاد^۱ آزمون سختی پذیری (قابلیت سخت کاری شدن) مطابق استاندارد و آخرین شمش^۲ یا تختال^۳ انجام پذیرد. مقدار سختی اندازه گیری شده در فاصله ۷/۹ میلی متر از انتهای خنک شده^۴ باید در محدوده ۳۳ تا ۵۳ راکول C یا ۳۲۷ تا ۵۶۰ ویکرز بوده و باید توسط تولیدکننده فولاد تصدیق و گزارش شود.

۱۰- فن آوری های جدید در مخازن CNG

۱-۱۰ سیستم ذخیره سازی ISS

سیستم ذخیره سازی گاز یکپارچه (Integrated Storage System) برای مخازن تمام کامپوزیت و مخازنی با قطر کوچک توسعه داده شده است. در این سیستم، مخازن توسط یک پوسته الیاف شیشه ای با استحکام بالا و فوم جاذب ضربه، پوشش داده می شوند. ساختار سیستم شامل سلول های فشاری است که پوششی از ترکیب کربن، شیشه و اپوکسی دارند و یک فوم جاذب شوک و ضربه به همراه یک پوسته شیشه ای آن را دربر گرفته است. ضخامت پوشش الیاف دیواره سلول های فشاری، برای جانمایی در اتومبیل بهینه شده اند و حفاظت از آن ها توسط قسمت های ISS فراهم می شود. پوسته خارجی ISS با فوم جاذب شوک و ضربه در ارتباط است و سلول های فشاری را یکپارچه می سازد. این پوسته خارجی سلول های فشاری را در مقابل بارهای موضعی، بارهای کلی و اثرات محیطی محافظت می کند. نمونه ای از این سیستم در شکل ۱-۹ نشان داده شده است.

سیستم ISS به عنوان یک مخزن واحد عمل کرده و دارای یک شیر قطع دستی، یک شیر سلونوئیدی برقی همراه با یک Pressure Relief Device (این شیر به صورت حرارتی عمل می کند) است. همگی این

^۱ - Heat of steel

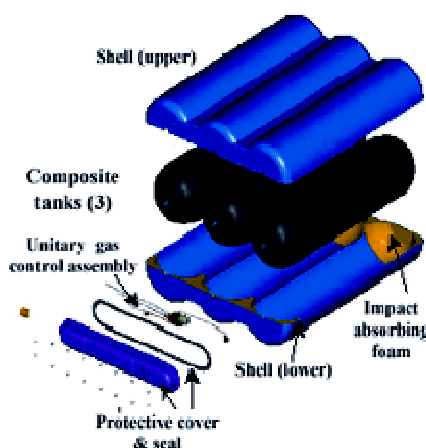
^۲ - Ingot

^۳ - Slab

^۴ - Quenched

اجزا در سیستم واحد قرار دارند. در صورت عدم استفاده از سیستم ISS و به کارگیری چند مخزن جداگانه براساس استانداردهای ایمنی مجبور هستیم تعداد اجزاء را افزایش دهیم و در نتیجه هزینه افزایش می یابد.

سیستم لوله کشی ISS به طور کامل توسط یک فوم، از آسیبها حفظ شده است و این فوم دارای یک پوشش محافظ از الیاف شیشه ای است که در هنگام تعمیرات می توان آنرا جابه جا کرد. این سیستم حفاظتی نقش دوگانه ای را ایفا می کند. به طوری که علاوه بر حفاظت، گاز نشتی از مخازن و شیرآلات را به یک ناحیه امن در زیر بدنه خودرو انتقال می دهد. سیستم ISS توسط یک تسمه فولادی به بدنه خودرو متصل می شود.



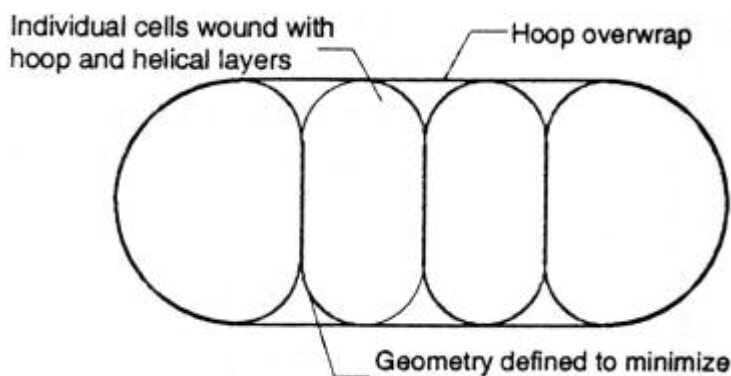
شکل ۹-۱: سیستم ذخیره سازی ISS

۲-۱۰ مخازن تطابق پذیر

یکی از جدیدترین فناوری های شرکت ATK Thiokol Propulsion تولید مخازن نوع ۴ تطابق پذیر می باشد. این مخازن به صورت دوقلو یا سه قلو ساخته می شوند. در ابتدا مخازن به صورت منفرد ساخته می شوند و به صورت محیطی و محوری توسط الیاف پیچیده می شوند؛ سپس این مخازن به صورت دوقلو یا سه قلو به صورت محیطی به یکدیگر متصل می شوند. در شکل ۹-۲ سیستم ذخیره سازی با راندمان حجمی و فشار کاری بالا نشان داده شده است. مخازن کامپوزیتی الیاف کربن با استحکام بالا به همراه آسترهای پلاستیکی، مخازن کم وزن با نفوذپذیری پایین را برای نصب روی خودرو نتیجه می دهند. البته به طور

همزمان مخازن ذخیره تطابق پذیر، نتایجی را به همراه راندمان بالاتر در هنگام جانمایی روی خودرو ارائه می کنند. مخازن تطابق پذیر ظرفیتی بالاتر از ۵۰٪ ظرفیت مخازن موجود را می توانند فراهم کنند که با مخازن استوانه ای متداول قابل رقابت هستند. با ترکیب طراحی چندسلولی منحصربه فرد به همراه روش های ترکیبی توسعه یافته، مخازن تطابق پذیر به عنوان مخازن جایگزین پیشنهاد می شوند. شکل ۹-۳ یک نمونه از سیستم مخازن تطابق پذیر ساخته شده توسط شرکت THIOKOL را نشان می دهد.

طراحی، تحلیل، بهینه سازی مواد و فرآیندها و ساخت و آزمون مخازن، جهت اطمینان از توانایی تجهیزات در فشار بالا و به حداقل رساندن هزینه ها و الزامات مواد به کار رفته، انجام می گیرند. آخرین ایمنی ها و استانداردهای موجود برای مخازن فشار بالا، به منظور نصب روی خودرو و برای اطمینان از عملکرد آن در طول عمر طراحی مخازن (حدود ۱۵ تا ۲۰ سال) به کار برده می شوند. سیکل های فشار، آزمون حداکثر دما و آزمون تیرانس آسیب روی سیستم های ذخیره با مقیاس واقعی پیاده می شوند.



شکل ۹-۲: سیستم ذخیره سازی با راندمان حجمی بالا و فشار کاری بالا



شکل ۹-۳: سیستم ذخیره سازی با راندمان حجمی توسط شرکت THIOKOL

۱۱- آزمونهای کیفیت سنجی طراحی مخازن CNG

در جدول ۱۱-۱ آزمونهای کیفیت سنجی طراحی مخازن برای انواع مختلف مخازن بیان شده است. در این مبحث بعلاوه گستردگی استفاده مخازن نوع اول در ایران فقط از آزمونهای مربوط به مخازن نوع اول صحبت به میان آمده است، برای انواع دیگر مخازن آزمونهای کمی متفاوت و تعداد آزمونها نیز بیشتر است که در صورت نیاز به بررسی بیشتر می توان به استاندارد ملی ایران به شماره ۷۵۹۸ مراجعه نمود.

جدول ۷- آزمونهای کیفیت سنجی طراحی مخزن

نوع مخزن				آزمون مربوطه
CNG-4	CNG-3	CNG-2	CNG-1	
×	×	×	×	ترکیدن
×	×	×	×	چرخه فشار در دمای محیط
×	×	×		محیط اسیدی
×	×	×	×	قرار گرفتن در معرض آتش
×	×	×	×	نفوذ گلوله
×	×	×		تعیین رواداری ترک
×	×	×		خزش در دمای بالا
×	×	×		شکست تسریعی

×	×			سقوط
×				نفوذ پذیری گاز
×	×	×	×	عملکرد (کارایی) وسیله اطمینان تخلیه فشار
×				گشتاور نافه
×				چرخه گاز طبیعی
	×	×	×	ارزیابی عملکرد LBB
×	×	×		چرخه فشار در دمای بسیار بالا
یادآوری ۱- علامت × به معنی لزوم انجام آزمون است.				

۱-۱۱ آزمون ترکیدن هیدرواستاتیک

پس از رسیدن فشار آزمون به ۸۰ درصد فشار طراحی ترکیدن، نرخ اعمال فشار نباید از ۱/۴ مگاپاسکال بر ثانیه بیشتر شود. اگر پس از رسیدن فشار آزمون به ۸۰ درصد فشار طراحی ترکیدن، نرخ اعمال فشار از ۳۵۰ کیلوپاسکال بر ثانیه بیشتر شود، مخزن بایستی بطور متقارن بین منبع فشار و وسیله اندازه‌گیری فشار قرار گرفته باشد، یا اینکه به هنگام رسیدن به حداقل فشار طراحی ترکیدن، اعمال فشار باید به مدت پنج ثانیه حفظ گردد. کمترین فشار ترکیدن باید حداقل ۴۵ مگاپاسکال بوده و در هیچ حالتی از مقدار لازم برای انطباق با الزامات نسبت تنش نباید کمتر باشد.

یادآوری - گسیختگی ممکن است در بخش استوانه‌ای یا عدسی مخزن رخ دهد.

۱۱-۲ آزمون چرخه فشار در دمای محیط

ابتدا مخزن مورد آزمون باید با یک مایع غیر خورنده مانند روغن، آب یا گلیکول پر شود. سپس برای انجام چرخه اعمال فشار، باید فشاری بین دو تا ۲۶ مگاپاسکال با نرخ کمتر از ده چرخه بر دقیقه به مخزن اعمال گردد. برای انجام این آزمون باید دو مخزن تکمیل شده را در دمای محیط تا مرحله واماندگی یا حداقل تا ۴۵۰۰۰ چرخه تحت آزمون چرخه فشار قرار داد. این مخازن نباید قبل از رسیدن تعداد چرخه اعمال فشار به ۱۰۰۰ برابر عمر مفید مشخص شده برحسب سال دچار واماندگی شوند. مخازنی که به تعداد بیش از ۱۰۰۰ برابر عمر مفید مشخص شده برحسب سال چرخه اعمال فشار را تحمل می‌کنند باید در اثر نشت وامانده شوند نه در اثر شکست. مخازنی که قبل از ۴۵۰۰۰ چرخه دچار واماندگی نمی‌شوند باید با ادامه آزمون چرخه فشار تا وقوع واماندگی و یا با اعمال فشار هیدرواستاتیک تا حد ترکیدن، از بین بروند. تعداد چرخه‌های اعمال فشار تا وقوع واماندگی و موضوع شروع واماندگی باید ثبت شوند.

۱۱-۳ آزمون قرارگیری در معرض آتش

آزمون قرار گرفتن در آتش برای آن در نظر گرفته شده که نشان دهد مخازن تکمیل شده ای که مجهز به سیستم حفاظت در برابر آتش (شیر مخزن، وسیله اطمینان تخلیه فشار و یا عایق بندی گرمای یکپارچه) مشخص شده در طراحی هستند، هنگامی که تحت شرایط آتش مشخص شده قرار گیرند از گسیختگی جلوگیری می‌کنند. بهنگام انجام آزمون آتش باید احتیاط لازم را برای وقوع گسیختگی مخزن دنبال کرد. مخزن باید به صورت افقی قرار گرفته و کف آن تقریباً ۱۰۰ میلی‌متر با منبع آتش فاصله داشته باشد. یک منبع آتش با شعله یکنواخت به طول ۱/۶۵ متر باید به طور مستقیم و در کل قطر خود به سطح مخزن برخورد کند. از انواع مختلف سوخت می‌توان برای تولید منبع شعله استفاده کرد به شرط آن که سوخت مورد نظر، حرارت یکنواخت کافی برای حفظ دماهای آزمون مشخص شده را تا زمان تخلیه مخزن فراهم کند. مخزن باید با گاز طبیعی یا هوای فشرده پر شده و در وضعیت افقی در فشار کاری آزمایش شود و در صورت عدم استفاده از وسیله اطمینان تخلیه فشار فعال با دما در ۲۵٪ فشار کاری تحت فشار

قرار گیرد. بلافاصله پس از جرقه، شعله تشکیل می گردد از این شعله باید در طول ۱/۶۵ متر از منبع آتش و در پهنا قطر مخزن به سطح مخزن برخورد کند. طی ۵ دقیقه پس از آغاز اشتعال، دست کم یکی از ترموکوپل ها باید دمای برابر یا بیش از ۵۹۰ درجه سلسیوس نشان دهد. این حداقل دما باید در تمام طول آزمایش حفظ شود.

۱۱-۴ آزمون نفوذ گلوله

مخزنی که به وسیله گاز فشرده تا 10 ± 200 بار تحت فشار قرار داده شده است، تحت نفوذ به وسیله یک گلوله جنگلی به قطر ۷/۶۲ میلیمتر و یا بیشتر قرار گیرد که گلوله ای که به مخزن اصابت می کند، باید حداقل از یک سمت دیوار، مخزن عبور کند. در مورد طراحی های نوع ۲ و ۳ و ۴، گلوله باید تقریباً از یک زاویه ۴۵ درجه بر دیواره مخزن برخورد کند، مخازن نباید گسیخته شود.

۱۱-۵ آزمون عملکرد وسیله اطمینان تخلیه فشار

وسیله اطمینان تخلیه فشار مشخص شده توسط سازنده باید با الزامات تمام آزمونهای ذیل انطباق داشته باشد :

آزمون الف - این آزمون بدین صورت انجام می گیرد که یک نمونه را باید در دمای کنترل شده حداقل ۹۵ درجه سلسیوس و فشار حداقل ۳۰ مگاپاسکال به مدت ۲۴ ساعت نگه داشت. در پایان آزمون نباید هیچگونه نشتی یا اثر قابل مشاهده ای از بیرون زدگی^۱ فلز ذوب شونده^۲ مورد استفاده در وسیله اطمینان تخلیه فشار، وجود داشته باشد.

آزمون ب - این آزمون بدین صورت انجام می گیرد که یک نمونه را باید مطابق مراحل ذیل، تحت آزمون خستگی قرار داد. نرخ اعمال چرخه فشار در این آزمون نباید از چهار سیکل (چرخه) بر دقیقه بیشتر شود :

^۱ - Extrusion

^۲ - Fusible metal

ب-۱- نمونه را باید در دمای ۸۲ درجه سلسیوس به تعداد ۱۰۰۰۰ چرخه تحت فشاری که بین دو و ۲۶ مگاپاسکال می‌باشد قرار داد.

ب-۲- نمونه را باید در دمای ۴۰- درجه سلسیوس به تعداد ۱۰۰۰۰ چرخه تحت فشاری که بین دو تا ۲۰ مگاپاسکال می‌باشد قرار داد.

در پایان آزمون‌های فوق نباید هیچگونه نشتی یا اثر قابل مشاهده‌ای از بیرون زدگی فلز ذوب شونده مورد استفاده در وسیله اطمینان تخلیه فشار، وجود داشته باشد.

آزمون پ - اجزاء برنجی وسیله اطمینان تخلیه فشار که در معرض فشار قرار دارند باید بدون ترک خوردگی ناشی از خوردگی تنشی، شرایط آزمون نیترات جیوه (شرح داده شده در استاندارد ASTM B154 را تحمل نمایند.

وسیله اطمینان تخلیه فشار باید در یک محلول آبی^۱ نیترات جیوه که در هر لیتر از این محلول ده گرم نیترات جیوه و ده میلی لیتر اسید نیتریک وجود دارد، به مدت ۳۰ دقیقه فرو برده شود. در ادامه، وسیله اطمینان تخلیه فشار باید در فشار ۲۶ مگاپاسکال به مدت یک دقیقه تحت آزمون نشتی قرار گیرد. در طول این یک دقیقه، وسیله اطمینان تخلیه فشار باید به لحاظ نشتی خارجی بدقت مورد بررسی قرار گیرد. در اینجا نشتی خارجی نباید از ۲۰۰ سانتی مترمکعب بر ساعت بیشتر باشد.

آزمون ت - اجزاء فولادی ضد زنگ مربوط به وسیله اطمینان تخلیه فشار که در معرض فشار قرار دارند باید از آلیاژی ساخته شده باشند که در برابر ترک خوردن ناشی از خوردگی تنشی در محیط کلریدی مقاوم باشند.

۱۱-۶ آزمون نشت پیش از شکست (LBB)

در مورد مخازنی که در آزمون چرخه فشار در دمای محیط قبل از ۴۵۰۰۰ چرخه دچار واماندگی می‌شوند، باید آزمون‌های LBB انجام گردیده و الزامات اشاره شده در آن باید برآورده شوند. برای انجام

^۱ - Aqueous

این آزمون، باید سه مخزن تکمیل شده را، با نرخی که از ده چرخه (سیکل) بر دقیقه تجاوز نمی‌کند، تحت آزمون چرخه فشار بین دو تا سه مگاپاسکال قرار داد. در این آزمون تمام مخازن باید در اثر نشت وامانده شوند (نه در اثر شکست).

۱۲- الزامات نشانه گذاری

سازنده باید روی هر مخزن اطلاعاتی را مطابق بخش‌های ۱۲-۱ و ۱۲-۲ این بند، بصورت واضح و ماندگار و با ارتفاع حداقل شش میلیمتر درج نموده و به عبارتی نشانه گذاری نماید.

نشانه گذاری مخزن باید با یکی از روشهای ذیل انجام گیرد :

الف - استفاده از برچسب‌های قرار داده شده درون پوشش رزین

ب - استفاده از برچسب^۱

پ - استفاده از روش حکاکی کم فشار^۲ در مناطق ضخیم انتهایی مربوط به مخازن نوع CNG-1 و

CNG-2

ت - ترکیبی از روشهای فوق الذکر

یادآوری ۱- برچسب‌های مورد استفاده باید مطابق استاندارد ISO 7225 باشند.

یادآوری ۲- استفاده از برچسب‌های چندگانه^۳ مجاز می‌باشد اما این برچسب‌ها باید بگونه‌ای قرار داده

شوند که با پایه‌های نصب^۴ پوشانده نشوند.

هر مخزنی که منطبق با این استاندارد می‌باشد، باید بصورت ذیل نشانه گذاری شود :

۱-۱۲ اطلاعاتی ضروری

۱- عبارت فقط برای CNG

¹ - Adhesive lables

² - Low stress stamps

³ - Multiple lables

⁴ - Brackets

۲- جمله پس از تاریخ $\times\times\times/\times\times$ استفاده نشود.

یادآوری ۱- در اینجا نشانه $\times\times$ ماه و نشانه $\times\times\times$ سال انقضاء می باشد.

یادآوری ۲- تاریخ انقضاء نباید از عمر مفید مخزن بیشتر باشد. این تاریخ می تواند از تاریخ تحویل

مخزن در نظر گرفته شود به شرطی که مخازن بدون فشار داخلی در یک مکان خشک انبار

شده باشند.

۳- نشانه شناسایی سازنده

۴- نشانه شناسایی مخزن (شماره سریال و سایر موارد مربوط به مخزن)

۵- فشار و دمای کاری

۶- جمله «فقط از وسائل اطمینان تخلیه فشار و / یا شیرهای اطمینان مورد تأیید سازنده استفاده

شود»

۷- در صورت استفاده از برچسب، تمامی مخازن باید دارای شماره شناسایی مجزا و منحصر بفرد که

روی یک سطح فلزی حک شده است، باشند تا در صورت از بین رفتن برچسب بتوان ردیابی را

انجام داد.

۲-۱۲ اطلاعات تکمیلی

بر روی یک برچسب دیگر اطلاعات زیر را نیز می توان درج نمود :

۱- محدوده دمای گاز داخل مخزن، مثلاً؛ ۴۰- تا ۶۵ درجه سلسیوس

۲- ظرفیت نامی مخزن برحسب لیتر آب، مثلاً؛ ۱۲۰ لیتر

۳- تاریخ انجام آزمون اصلی فشار

نشانه گذاری ها باید به همان ترتیبی که در بالا گفته شد روی مخزن درج شوند اما می توان به دلیل

محدودیت فضا، چیدمان دیگری را دنبال کرد. یک مثال قابل قبول در ادامه آورده شده است :

فقط برای CNG

پس از تاریخ استفاده نشود.

سازنده / شماره / شماره سریال

۲۰ مگاپاسکال / ۱۵ درجه سلسیوس

فقط از وسائل اطمینان تخلیه فشار مورد تأیید سازنده استفاده شود

۱۳- آماده سازی برای تحویل^۱

داخل هر مخزن قبل از خروج از کارگاه ساخت باید بطور کامل تمیز و خشک شود. مخازنی که بعد از آماده سازی، بلافاصله با یک شیر و یا وسائل ایمنی (در صورت کاربرد) بسته نمی شوند باید با درپوشهائی بسته شوند تا از ورود هرگونه رطوبت جلوگیری شده و رزوه تمام دهانه ها محافظت شود. به منظور حصول اطمینان از حمل و نقل، استفاده صحیح و بازرسی مخزن در حین کار، باید دفترچه راهنما و تمامی اطلاعات لازم در اختیار خریدار قرار گیرد. این دفترچه راهنما باید مطابق الزامات مذکور در بند ۱۴ باشد.

۱۴- دستورالعمل سازنده مخزن در مورد جابجایی، استفاده و بازرسی مخزن

۱-۱۴ توزیع نسخ دستورالعمل ها

سازنده باید به خریدار توصیه کند که این دستورالعملها را در اختیار همه کسانی که درگیر توزیع، جابجایی، نصب و استفاده از مخزن هستند قرار دهد. بدین منظور جهت تهیه نسخه های کافی می توان از این دستورالعمل ها نسخه برداری نمود اما این نسخه ها به منظور مرجع قرار دادن برای مخازن تحویلی باید ممهور شوند.

^۱ - Preparation for dispatch

۱۴-۲ ارجاع به کدها، استانداردها و مقررات

سازنده می‌تواند دستورالعمل‌ها را با ارجاع به کدها، استانداردها و مقررات ملی ارائه نماید.

۱۴-۳ جابجایی مخزن

رویه جابجایی مخزن باید بگونه‌ای باشد که از عدم آسیب دیدگی غیر قابل قبول در حین جابجایی آن اطمینان حاصل شود.

۱۴-۴ نصب

دستورالعمل‌های نصب مخزن باید بگونه‌ای باشند که از عدم آسیب دیدگی غیر قابل قبول در طول نصب و استفاده معمولی از آن اطمینان حاصل شود.

در صورتیکه سازنده نحوه نصب مخزن را مشخص کرده باشد، دستورالعمل‌های نصب باید در صورت ارتباط حاوی مواردی از قبیل طرح نصب، نحوه استفاده از واشرهای ضربه گیر^۱، گشتاورهای صحیح بستن و اجتناب از تماس مستقیم مخزن با مواد شیمیایی و اثرات مکانیکی باشد.

در صورتیکه سازنده به چگونگی نصب مخزن اشاره نکرده باشد، باید خریدار را از اثرات احتمالی وارده در درازمدت به سیستم نصب مخزن مطلع سازد. این اثرات می‌تواند ناشی از مواردی مانند حرکات بدنه خودرو و انقباض و انقباض مخزن در شرایط فشار و دمای کاربرد باشد.

در صورت لزوم، باید توجه خریدار به این نکته جلب شود که شرایط نصب باید بگونه‌ای باشد که از تجمع مایعات و جامدات و به تبع آسیب رسیدن به مخزن جلوگیری شود.

در دستورالعمل نصب روش صحیح نصب وسیله اطمینان تخلیه فشار باید مشخص گردد.

^۱ - Resilient gasket materials

۵-۱۴ استفاده از مخزن

سازنده باید خریدار را از شرایط استفاده از مخزن مخصوصاً تعداد چرخه مجاز اعمال فشار، عمر مخزن برحسب سال، حدود کیفیت گاز و حداکثر فشار مجاز مطلع سازد.

۶-۱۴ بازرسی حین استفاده از مخزن

سازنده باید بطور واضح تعهد خریدار را در رعایت الزامات بازرسی مخزن (از قبیل انجام بازرسی دوره‌ای توسط شرکت‌های مورد تایید مرجع ذی صلاح) مشخص نماید. این اطلاعات باید با الزامات تأیید طراحی همسو باشد.

۱۵- نحوه تخلیه مخازن CNG

دو زمان وجود دارد که مخازن CNG باید تخلیه شوند:

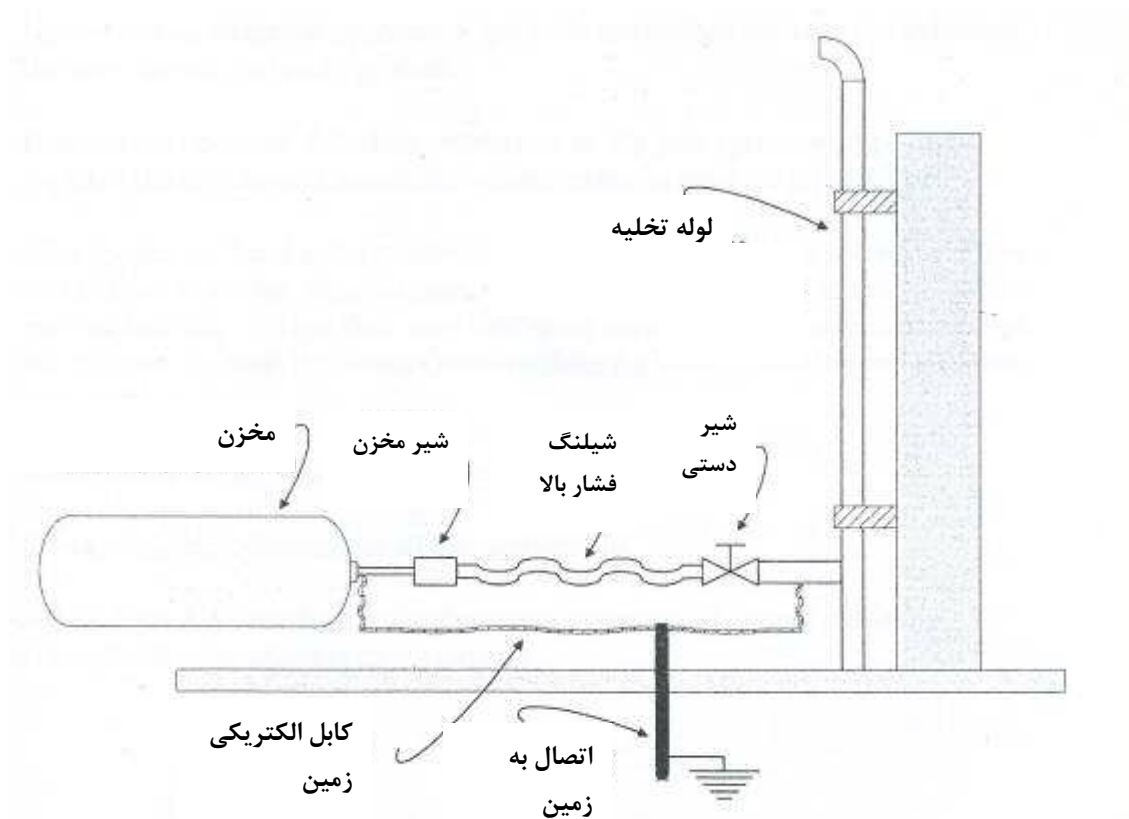
الف) تخلیه اضطراری

ب) تخلیه طبق زمانبندی

تخلیه اضطراری هنگامی نیاز است که برای جلوگیری از آسیب دیدگی به مخزن یا بروز حادثه، مخزن باید خالی از گاز شود. تخلیه طبق زمانبندی، برنامه از پیش تعیین شده برای خارج نمودن گاز از داخل مخزن است که در موارد زیر نیاز می باشد:

- حمل و نقل برای تست ادواری
- عودت به سازنده
- انجام عملیات خاص برای بازیابی
- باز کردن و تعمیر یا تعویض شیر مخزن

تخلیه مخزن برای بازرسی چشمی لازم نیست. در شکل ۱۵-۱ یک نمودار شماتیک از تجهیزات تخلیه نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۱: شماتیک تخلیه مخزن

باید توجه داشت که اگر مخزن حتماً باید بطور کامل مقید و ثابت شده باشد زیرا با خروج گاز مخزن شروع به حرکت خواهد نمود. کلیه نکات ایمنی از جمله عدم وجود منابع آتش و جرقه در نزدیکی مکان تخلیه باید رعایت گردند.