

مصالح و روشهای ساخت و اجرای میکروپایل

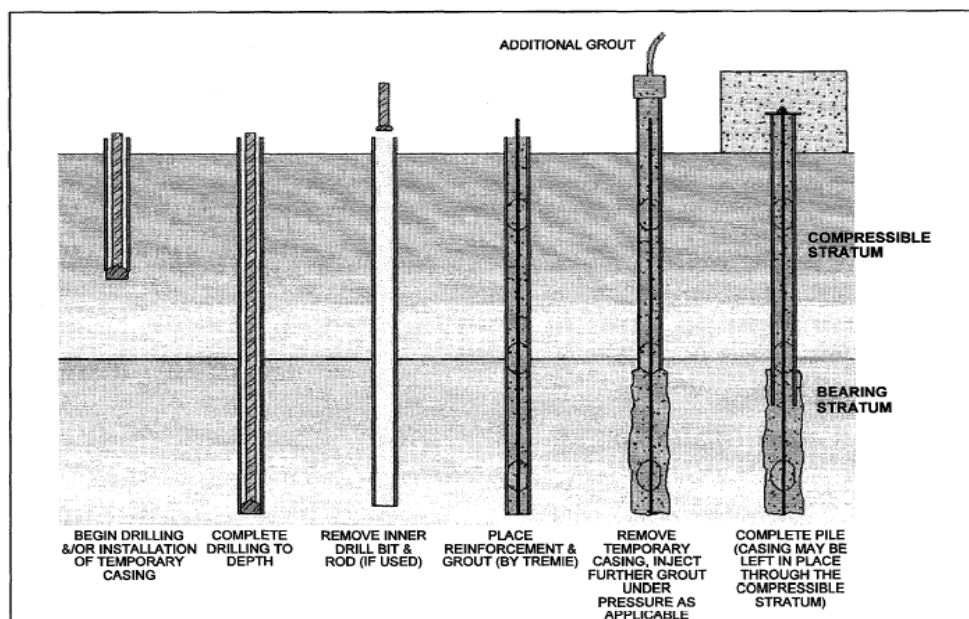
2- مصالح و روشهای ساخت و اجرای میکروپایل

1-2- مقدمه

ساخت یک میکروپایل شامل یک رشته فرآیندهایی است که مهمترین آنها حفاری، قراردادن آرماتور و دوغاب ریزی می باشد. سیستم های حفاری زیادی در سنگ و خاک وجود دارد و بسیاری از آنها در مورد میکروپایل ها مورد استفاده قرار می گیرد. جاگذاری آرماتورها یک فرآیند تقریبا استاندارد است اگر چه کشورهای مختلف از نمره، اندازه و پیکره بندی های مختلف استفاده می کنند.

در فرآیند تزریق، بیشترین تنوع و گستره عملیات وجود دارد. این عوامل وابسته به استفاده از روش تزریق به عنوان اساس تقسیم بندی انواع میکروپایل ها، می باشد.

مراحل معمول ساخت و اجرای میکروپایل های نوع A و نوع B (شکل 1-2) شامل حفاری میل چاههای شمع تا عمق مورد نظر، جایگذاری آرماتورهای فولادی، اجرای تزریق اولیه به روش ترمی، و اجرای تزریق های بعدی تحت فشار قابل قبول، می باشد. به طور کلی تجهیزات حفاری و تزریق و روشهای استفاده شده در ساخت و اجرای میکروپایل ها شبیه به موارد بکار گرفته در میخکوبی ها، مهارها، و گمانه های تزریق می باشد. [1,2]



شکل 2-1 : مراحل اجرای میکروپایل با استفاده از غلاف گذاری

2-2- حفاری:

اکثر روشهای حفاری انتخاب شده توسط پیمانکاران متخصص در یک پروژه عملی، قابل قبول می‌باشند، به شرطی که پیمانکاران قادر به حفر یک گمانه مستحکم و پایدار با ابعاد مورد نظر و رواداری مقرر، بدون خسارت زدن به محیط اطراف باشند. پیمانکار حفاری باید نسبت به شرایط زمین پروژه و اثرات روش حفاری انتخاب شده آگاهی داشته باشد. حفاری در یک محیط شهری متراکم و شلوغ و در نزدیکی و مجاورت بناهای قدیمی یا پی‌های در معرض تخریب، محدودیت‌ها و تفاوت‌های بسیاری با حفاری برای پی‌های جدید و در دست اجرا در یک فضای باز دارد.

عمل حفاری و اجرای گمانه شمع، ممکن است گاهی اوقات تا فاصله مشخصی بر زمین اطراف آسیب وارد نماید. در زمان تدارک جهت نصب و اجرای شمعی که بتواند ظرفیت باربری مورد نیاز را با بهینه ترین هزینه تامین کند، روش حفاری انتخاب شده توسط پیمانکار، باید به دور از ایجاد آسیبه‌ها و خسارات‌های غیر قابل پذیرش به خاک محل و تاسیسات و بناهای آن باشد.

جاری شدن آب با فشار قوی سبب افزایش سرعت حفاری و افزایش جابجایی اجزای ریز مخلوط خاک می‌شود. همچنین باعث توسعه قطر موثر در محدوده چسبندگی و نفوذ دوغاب و افزایش ظرفیت شمع می‌شود. افزایش فشار آب باید تحت مراقبت باشد و ملاحظات مربوط به ایجاد تخلخل و نشست سطحی و پیدایش ترکهای هیدرولیکی در زمین در نظر گرفته شود.

معمولاً بهترین کیفیت شمع زمانی بدست می‌آید که، مراحل حفاری، آرمانورگذاری و تزریق، طی یکسری عملیات پیوسته با حداکثر سرعت ممکن، اجرا و تکمیل گردد. فواصل زمانی زیاد بین تکمیل و اجرای حفاری و آرمانورگذاری و تزریق ممکن است باعث خرابی خاک محیط اطراف گردد. (نظیر رس بیش تحکیم شده، رس شل) که دراین موارد باید نصب شمع در یک روز تکمیل گردد و چاله شمع بیش از یک روز باز نماند.

سایر شرایط ویژه محلی، ممکن است در انتخاب روش حفاری و نوع سیال، جهت استخراج مصالح حفر شده، تاثیرگذار باشد. استفاده از جریان آب نیاز به منبع جابه جایی و دسترسی به حجم زیادی آب دارد. جایی که با کمبود آب مواجه باشیم استفاده از وسایلی نظیر تانک‌ها یا آبیگرها برای تصفیه و گردش مجدد آب مورد نیاز است.

تصویر 1-2 ، ماشین حفار هیدرولیکی در حال نصب شمع مایل را نشان می دهد.

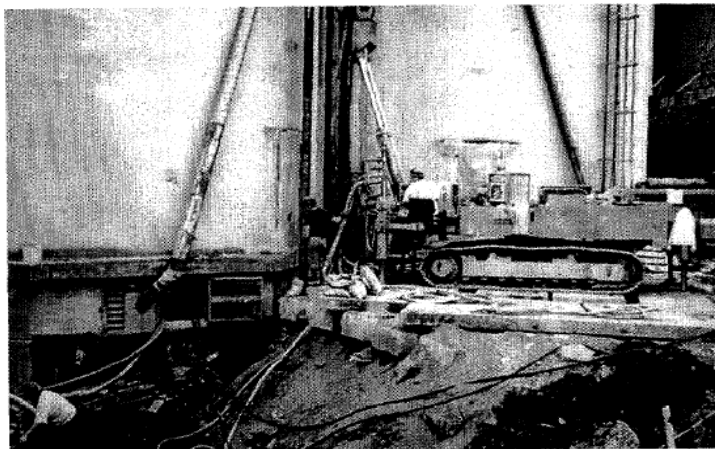


تصویر 1-2: ماشین حفار هیدرولیکی در حال نصب شمع مایل

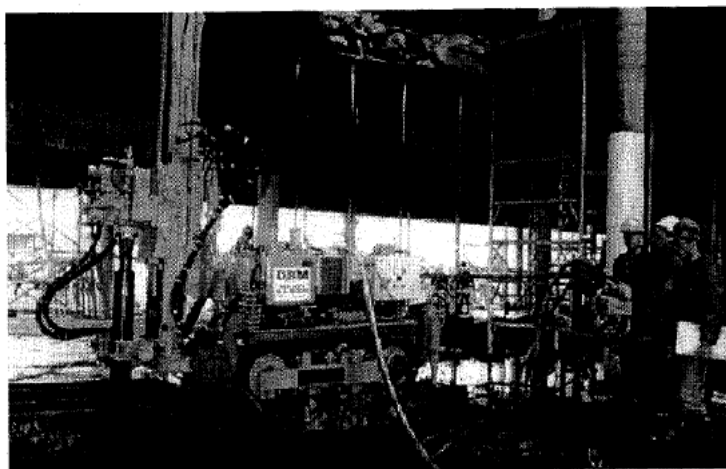
1-2-2- تجهیزات حفاری

تجهیزات حفاری که معمولاً استفاده می شود، ماشین با محور گردنده هیدرولیکی (الکتریکی یا دیزلی) است که می توان آنها را بر روی (track) شیار و لبه نصب نمود، در نتیجه حفاری در مسیرهای دشوار و شیبدار نیز امکان پذیر است. همان طور که در تصویر 2-2 و 3-2 دیده می شود، مته های نصب شده بر روی track تا اندازه های بزرگ قابل تغییر می باشند. مته های بزرگتر استفاده از مقاطع طولانی میله های حفاری و غلاف گذاری در شرایط سخت و مته های کوچکتر امکان کار در فضاهای با ارتفاع کم و شرایط با دسترسی سخت را فراهم می کند. دکل مته را می توان در روی یک چهارچوب (قاب) نصب نمود که اجازه کار در مکانهای با دسترسی بسیار محدود و فضاهای کم ارتفاع، مانند زیرزمین ها را می دهد. یک مته نصب شده بر روی قاب، مانند آن چیزی که در تصویر 4-2 نشان داده شده است، می تواند توسط لوله ها و شلنگهای بلند به واحد دورانی هیدرولیکی جداگانه ای وصل شود. در نتیجه واحد تامین نیرو در بیرون از محل کار قرار می گیرد که منجر به کم شدن

فضای مورد نیاز و کم شدن سر و صدا و مشکلات مربوط به گازهای خروجی از اگزوز ماشین آلات در محل کار می شود.



تصویر 2-2: مته دورانی هیدرولیکی بزرگ نصب شده روی ارابه



تصویر 2-3: مته دورانی هیدرولیکی کوچک نصب شده روی ارابه



تصویر 2-4: مته دورانی هیدرولیکی کوچک نصب شده روی قاب

سرگردنده مته حتی با تجهیزات کم هم توان بالایی دارد که امکان نصب در شرایط زیرزمینی سخت را می دهد. کوتاه کردن دکل مته و استفاده از مقاطع اتصال کوتاه از رشته مته و تقویتی شمع، امکان نصب شمع در مکان های با ارتفاع کمتر از 3 m را می دهد. مرکز شمع می تواند در فاصله 0.3 متری از وجه دیوار مجاور قرار می گیرد.

2-2-2- روش های حفاری

روش حفاری باید کمترین آسیب و خسارت یا بالازدگی در زمین و سازه را ایجاد نماید، و در عین حال اقتصادی ترین، موثرترین و مطمئن ترین ابزار برای نفوذ و تزریق باشد. میکروپایل ها اغلب باید درون مصالح ضعیف کوبیده شوند تا به لایه با ظرفیت باربری مناسب برسند، بنابراین اغلب نیاز به استفاده از روش های حفاری بیشتر برای نگهداری خاک های تحکیم نیافته و ضعیف داریم. همچنین به جز در مصالح خود نگهدارنده نظیر سنگ یا خاک چسبنده، گمانه حفاری باید در تمام طولش نگهدار موقت، مثلاً غلاف موقت یا سیال حفاری مناسب، داشته باشد. اگر تمام عمق شمع از جنس مصالح خود نگهدارنده باشد، بدون نیاز به نگهداری موقت گمانه بوسیله غلاف یا حفاری با میله تو خالی، امکان حفر گمانه با روش های گمانه باز وجود دارد.

روش های هسته بتنی ممکن است برای ایجاد یک چاله با اندازه بزرگتر در دال ها و پی های موجود استفاده شوند تا اجازه عبور مناسب غلاف حفاری را بدهند. در این موارد روش های معمول حفاری سنگ شامل روش دورانی ضربه ای برای نفوذ به پی سازه های موجود با تقویتی کم استفاده می شوند. روش های دورانی ضربه ای یا دورانی مضاعف ممکن است برای نفوذ اولیه در لایه های مسدود کننده اولیه، مانند لایه های قله سنگ و بتن به کار گرفته شود.

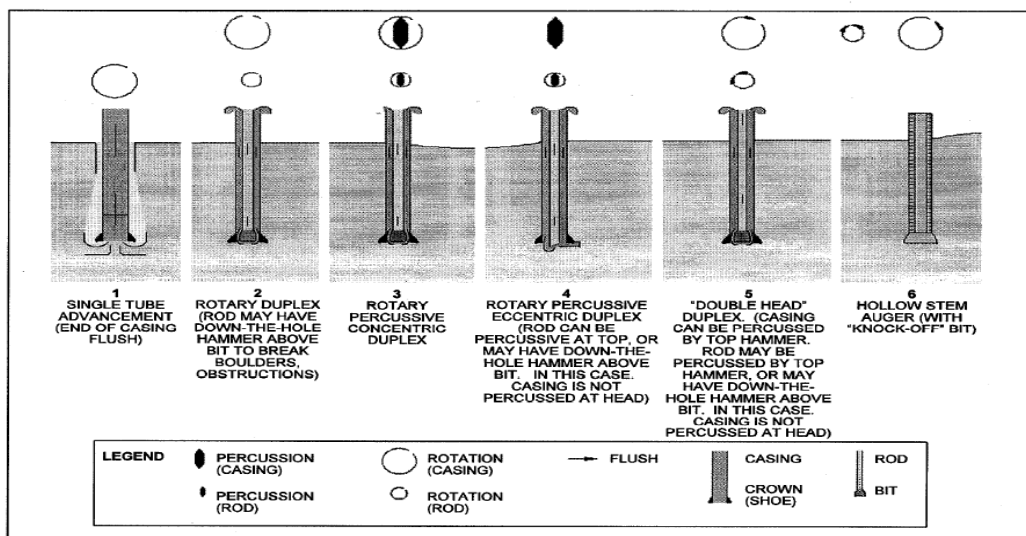
آب معمول ترین روش تمیز نمودن گمانه در حین حفاری است روش های دیگر با استفاده از هوا، کف و گل حفاری است.

در موقع استفاده از جریان هوا باید احتیاط شود که هوا به زمین پیرامون وارد نشود که باعث ترک خوردگی خاک پیرامون گردد. استفاده از گل بنتونیت برای پایدارسازی و شستشوی گمانه به علت ایجاد پوسته ای از رس در وجه مشترک باعث کاهش ظرفیت پیوستگی زمین - دوغاب می گردد. گل حفاری با پلیمر به طور موفقیت آمیز در ساخت میکروپایل در تمام انواع زمین ها استفاده شده است. این نوع گل احتمال آسیب ظرفیت پیوستگی را کاهش داده و نسبت به گل بنتونیت تمیز نمودن با آن ساده تر است.

2-2-2-1- روش های حفاری لایه های سربار

روش های اختصاصی زیادی برای حفاری لایه های سربار وجود دارد که توسط تولیدکنندگان تجهیزات حفاری در سراسر دنیا عرضه می گردد. اساساً شش روش کلی وجود دارد که به طور بین المللی در گارگاه های ویژه ساخت

و ساز ژئوتکنیکی استفاده می شوند. در ادامه بحث مختصری از این شش روش ارائه شده است. همچنین در شکل 1-15 نیز به طور ساده نشان داده شده اند.



شکل 2-2: روشهای حفاری لایه های سربار (Bruce, 1988)

1- پیشروی تک لوله‌ای با شستشوی خارجی (حفاری با شستشو):

در این روش، پنجه غلاف حفاری با یک تاج دندانه دار یا سرمته، سر جای خود ثابت می شود و غلاف با چرخش سر مته به داخل زمین پیش می‌رود. جریان آب به طور پیوسته به درون غلاف پمپ می‌شود تا با شستشو آخال را از تاج دور نماید. نخاله‌هایی که با آب برده می شوند به سمت سطح پیرامون قسمت بیرونی غلاف فرار می‌کنند، ولی می توانند بویژه در ترازهای سست و نفوذ پذیر بالاتر ناپدید شوند.

در زیرسازه‌های حساس بایستی مراقبت گردد که جریان کنترل نشده با ایجاد حفره سبب خسارت به سازه نگردد. در این روش از جریان هوا استفاده نمی‌شود. چون باعث دست خوردگی زمین می‌شود. تجربه نشان داده که افزودنی‌های پلیمری می توانند به جای آب تنها در شرایط زمین خاص، بسیار مفید باشند. به نظر نمی‌رسد که این افزودنی‌ها روی توسعه چسبندگی ملات به خاک تأثیر زیانباری، مانند حالتی که استفاده از بنتونیت می‌تواند ایجاد کند، داشته باشند.

2- روش دورانی مضاعف:

در این روش میله حفار با یک تیغه مته مناسب درون غلاف حفاری قرار می‌گیرد. این میله به همان سر چرخنده که به غلاف وصل است، متصل می‌شود و چرخش و پیشروی همزمان مته و غلاف را ممکن می‌سازد. سیال شستشو دهنده، (معمولاً آب یا پلیمر) از داخل سر به سمت پایین از طریق میله‌ای در مرکز مته پمپ می‌شود تا از روزنه‌های شستشوی تیغه مته خارج شوند. نخاله‌های حاصل از مته کاری که با آب برده می‌شوند به سطح حلقه ای که بین میله مته و غلاف وجود دارد، می‌آیند و در سطح، از روزنه‌های سر مته خارج می‌شوند. اگر چه احتمال هر گونه خطری با روش حفاری دو جزئی کمتر از روش تک لوله ای است، شست و شو با هوا باید با احتیاط صورت گیرد چرا که بلوکه شدن در حلقه می‌تواند سبب گسترش فشار هوا به مقادیر زیاد در تیغه مته و آشفته‌گی زمین شود.

3- روش دورانی ضربه ای مضاعف (متحدالمرکز):

سیستم دورانی- ضربه ای مضاعف، شاخه پیشرفته ای از روش دورانی مضاعف می‌باشد که به موجب آن میله‌های مته و غلاف به طور همزمان ضربه زده، می‌چرخند و پیشروی می‌کنند. ضربه زنی بوسیله یک سر مته چرخنده کوبنده که از بالا هدایت می‌شود، صورت می‌گیرد. این روش به یک سر مته با انرژی چرخشی و کوبندگی نیاز دارد.

4- روش دورانی- ضربه ای مضاعف (غیر هم مرکز):

به عنوان سیستم حفاری غیر هم مرکز تحت بار (ODEX) فروخته می‌شود. این دستگاه شامل استفاده از محور حفاری ضربه ای توام با دهانه خارج از مرکز می‌باشد. دهانه خارج از مرکز غلاف حفاری را از زیر قطع می‌کند و سپس می‌تواند به درون گمانه حفاری بزرگتر با انرژی محوری کمتر هل داده شود. گزینه‌های قطر بیشتر از 127 mm اغلب درگیر استفاده از چکش هستند که روی کفش جلو برنده در پنجه پوشش عمل می‌کند. بنابراین پوشش به درون گمانه در مقابل ضربه چکش رانده می‌شود. سیستم‌های مشابه ODEX سیستم‌هایی نظیر Tubex از اروپا و ژاپن هستند.

5- روش دوسره مضاعف:

در این روش میله ها و غلاف ها با سرهای حفار مجزا یکی بالای دیگری روی همان دستگاه نصب شده می چرخند . این سرها پیچش زیادی تولید می کند . با این وجود سرها دنده دار هستند . مثلاً سر پایینی (چرخاننده پوشش بیرونی) و سر بالایی (چرخاننده دسته حفار داخلی) در جهات خلاف هم می چرخند . نتیجه عملکرد برشی و قطع کننده است که سرعت نفوذ بیشتری را اجازه می دهد .

6- مته با میله توخالی:

مته‌های تو خالی سیستم‌های مته یکپارچه با یک هسته توخالی مرکزی می باشند و شبیه به مواردی هستند که معمولاً در حفاری‌های شمع یا برای نمونه گیری از زمین استفاده می‌گردند. زمانی که حفاری به سمت پایین صورت می‌گیرد، سوراخ مرکزی بوسیله یک کلاهک در سر مته مسدود می‌گردد. زمانی که گمانه تا عمق مورد نظر حفاری شد، کلاهک بوسیله فشار دوغاب کنار زده می‌شود، و بدین سان در حالی که مته بیرون کشیده می‌شود، شمع شکل می‌گیرد. چنین مته‌هایی اغلب برای حفاری مصالح چسبنده یا سنگهای خیلی نرم استفاده می‌شوند.

2-2-2- روشهای حفاری گمانه رو باز

زمانی که بتوان ریزشمع را در شرایطی پایدار اجرا نمود، ممکن است غلاف گذاری به حالت تعلیق در آمده و اجرای گمانه تا انتهای عمق با روش حفاری رو باز ادامه پیدا کند. بین هزینه‌های اتلاف زمان در تغییر موضع به سیستم کم هزینه تر حفاری رو باز و یا ادامه دادن به کار با یک سیستم حفاری گران قیمت تر برای تمام عمق گمانه یک نوع تعادل وجود دارد.

ممکن است روشهای حفاری رو باز به طریق زیر طبقه بندی گردند :

1- حفاری ضربه ای - دورانی :

مخصوص سنگهای با مقاومت فشاری بالا می باشد. روشهای ضربه ای- دورانی هم با استفاده از محرک فوقانی و هم با استفاده از چکش های سقوطی بکار برده می شوند. در گمانه های با قطر کوچک جهت اجرای ریزشمع ها، روش اقتصادی تر و رایج تر می باشد. برای سیال شستشو نیز می توان از هوا، ترکیبی از هوا- آب یا کف استفاده نمود.

در سیستم محرک فوقانی نیز می توان از هوا، آب و یا سایر سیستم های شستشو استفاده نمود، اما به لحاظ قطر و عمق اجرا، محدودیت هایی دارد. ضمناً نسبتاً پر سروصدا بوده، و ممکن است بواسطه ارتعاشات بیش از حد آسیب هایی به سازه و فونداسیون وارد نماید.

2-2- مته های تو پر یکپارچه:

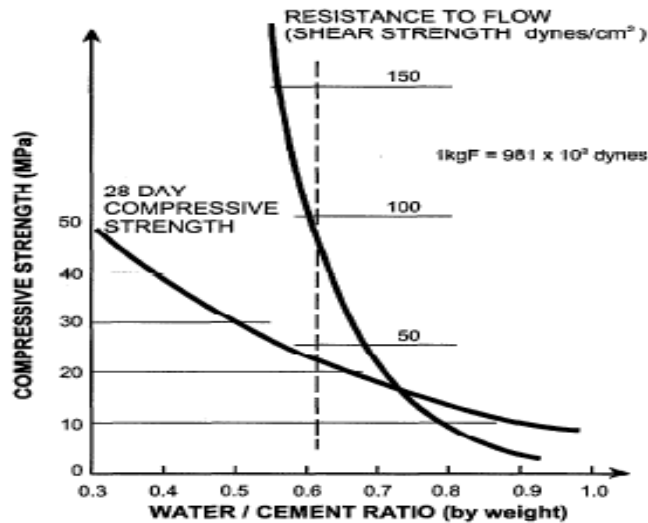
در رسهای سفت تا سخت فاقد تخته سنگ و در برخی سنگهای ضعیف، حفاری را می توان با یک مته توپر اجرا نمود. چنین سیستم حفاری، سریع و بی صدا بوده و نیازی به استفاده از مواد شستشو دهنده برای دفع ضایعات ندارد. ممکن است خطر افت فشار جانبی یا آلودگی و دست خوردگی دیواره گمانه وجود داشته باشد که هر کدام از اینها می توانند به طور متفاوتی بر مجموعه خاک-دوغاب تاثیرگذار باشند. چنین مته هایی ممکن است در شرایطی که جمع آوری و دفع دقیق ضایعات حفاری به لحاظ زیست محیطی حائز اهمیت است، مورد استفاده قرار گیرد. [1, 3]

2-3- تزریق

همانطوری که قبلاً توضیح داده شد، عملیات تزریق تاثیر عمده ای را بر ظرفیت باربری و شکل ریز شمع ها می گذارد، لذا به عنوان اساسی ترین روش برای طبقه بندی ریز شمع محسوب می شود. جزئیات مربوط به انواع روش های تزریق در نقاط مختلف جهانی بسیار متفاوت است که بستگی به اصول اجرا و کیفیت وسایل و تجهیزات محلی دارد. به هر حال به عنوان نکات کلی باید به موارد زیر توجه نمود:

- ملات های تزریق برای تامین مقاومت و پایداری بالا طراحی می شوند اما بایستی قابل پمپاژ هم باشند. همان طور که در شکل 2-3 نشان داده شده است، این خواسته مستلزم این است که نسبت وزنی آب به سیمان صرفی بین 0.4 تا 0.5 باشد .
- ملاتهای تزریقی با آب آشامیدنی تولید می شوند تا از احتمال خوردگی آماتور ها کاسته شود.
- رایج ترین سیمان استفاده شده، سیمان نوع I و II مطابق ASTM C150/ AASHTOM85 که به صورت کیسه ای یا فله بسته به شرایط کارگاه، اندازه کار، امکانات موجود، هزینه اقتصادی تهیه می گردد.
- معمولاً از سیمان خالص استفاده می شود هر چند که در برخی کشورها ماسه به ملات افزوده می شود. بنتونیتی که باعث کاهش مقاومت ملات تزریقی می شود برای بهبود قابلیت پمپاژ و (یا) در شرایط آب و هوایی گرم با احتیاط بسیار مورد استفاده می گیرد.

- مقاوت‌های فشاری طراحی بین 28 تا 35 مگاپاسکال برای ملات سیمان خالص قابل حصول است.



شکل 2-3: تاثیر میزان آب بر مقاومت فشاری دوغاب و خاصیت سیالیت و کارایی آن (Barley and Woodward, 1992)

از اهداف اساسی‌ای که در عملیات تزریق دنبال می‌شود می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ملات تزریق، بارهای وارده را به آماتور و زمین اطراف انتقال می‌دهد.
- ملات تزریق ممکن است قسمتی از سطح مقطع بار بر شمع را تشکیل دهد.
- ملات تزریق از آماتور فولادی در مقابل خوردگی محافظت می‌کند.
- اثرات دوغاب ممکن است بواسطه تراوش، تراکم و یا شکاف و ترک خوردگی، از محدوده گمانه حفاری شده فراتر رود.

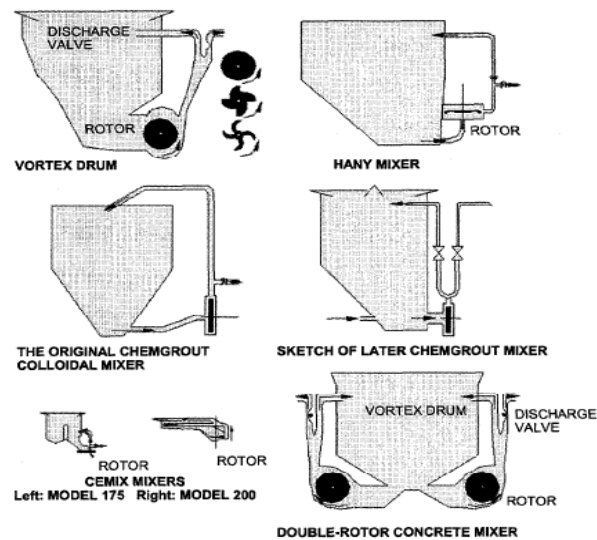
ملات تزریق بایستی دارای خصوصیات موثری از جمله روانی، مقاومت، پایداری و دوام باشد. نیاز به روانی ملات نبایستی ما را به اشتباه بیاندازد زیرا افزایش آب اثر منفی بر سه پارامتر مذکور می‌گذارد. همان طوری که گفته شده و در شکل 2-3 نیز به تصویر شیده شده است، نسبت وزنی آب به سیمان مصرفی بایستی بین 0.45 تا 0.5 باشد و در جهت اطمینان لازم است که مقادیر کمتر از 0.4 هم چک شود.

برای داشتن شمعی بی عیب ضروری است که پس از تکمیل عملیات تزریق، در هیچ یک از قسمت‌های مختلف شمع که جهت تحمل بار یا حفاظت از خوردگی بکار می‌رود، کمبود عمده و قابل توجهی از دوغاب سیمان

وجود نداشته باشد. مشکلات ناشی از کمبود دوغاب ممکن است استفاده از یک ماده پرکننده مثل ماسه را برای بستن لایه‌های نفوذپذیر لازم بدارد، یا ممکن است لازم باشد که گمانه را تزریق کرده و مجدداً پس از گرفتن تزریق اولیه، حفاری کرده دوباره تزریق را انجام دهیم. از آنجایی که دوغاب یکی از اجزاء خیلی حیاتی ریزشمع می باشد، توجهات خاصی بایستی در کنترل کیفیت تولید و تهیه آن صورت گیرد.

2-3-1- تجهیزات تزریق:

به عنوان یک دستورالعمل عمومی، هر کارخانه و ماشین مناسبی جهت اختلاط و پمپاژ دوغاب های سیمانی سیال، می تواند برای تزریق ریزشمع‌ها مورد استفاده قرار گیرد. دوغاب‌های با بهترین کیفیت، هم به لحاظ کارایی و هم مجموعه سایر خواص، با میکسرهای کلوئیدی با انرژی زیاد و سرعت بالا (شکل 2-4) تولید می شوند. تجهیزات اختلاط می توانند توسط هوا، دیزل یا الکتریسیته کار کنند و در دامنه وسیعی از ظرفیت ها و اندازه های موجود، توسط بسیاری از تولیدکنندگان ساخته می شوند. (شکل 2-5)



شکل 2-4: انواع متفاوت میکسرهای کلوئیدی

برای تزریق دوغاب تحت فشار، فشارهای تزریق پایین (تا یک مگا پاسکال) معمولاً با استفاده از فشار ثابت پمپ های دوار و گردون (پمپ های Moyno) حاصل می گردد، در حالی که تزریق های با فشار بالا، مانند ریزشمع های نوع C یا D، معمولاً مستلزم یک پیستون فشار نوسانی یا پمپ کوبه ای می باشند.

2-3-2- اختلاف دوغاب

در ابتدا، حجم اندازه گیری شده ای از آب به میکسر اضافه می گردد، در ادامه سیمان و سپس مصالح دانه ای یا پرکننده (در صورت نیاز) اضافه می گردد. عموماً توصیه شده است که دوغاب بایستی حداقل به مدت 2 دقیقه مخلوط گشته و پس از آن بایستی قبل از پمپ شدن به درون شمع در یک تلاطم آرام و پیوسته درون یک تانک ذخیره نگهداری شود. تنها در مصارف زیاد، مثلاً جایی که انتظار می رود قطعات بزرگ استثنایی آماده گردد، نیاز به منبع ذخیره مخلوط دوغاب می باشد. دوغاب بایستی، در طی حداکثر زمان خاصی پس از اختلاط تزریق شود. این زمان کارایی ایمن، بایستی بر اساس آزمایشهای برجا (در محل) تعیین شود، چرا که زایده بسیاری از عوامل می باشد، اما عموماً نباید فراتر از یک ساعت رود.

آب نیز بوسیله یک تانک مدرج یا جریان سنج، به مجموعه درون میکسر اضافه می شود. سیمان نیز معمولاً بر اساس وزن، یا بصورت سیمان کیسه ای و یا سیلویی به مجموعه اضافه می شود. ماسه یا مصالح پرکننده نیز بر اساس وزن، بوسیله کیسه های از پیش اندازه گیری شده یا به طور رایج تر، با استفاده از یک گیج باکس که پیشاپیش کنترل و وزن شده است به مجموعه اضافه می شوند.

2-3-2-1- روشهای تزریق دوغاب :

1- روش های تزریق ثقلی و وزنی (ریزشمع نوع A):

زمانی که گمانه تا انتها حفاری شد، با دوغاب پر شده و آرماتور جایگذاری می شود. دوغاب بایستی همیشه از طریق یک لوله ترمی موجود در ته گمانه، به درون گمانه تزریق گردد. تا زمانی که دوغابی با کیفیت مشابه به آنچه که در ابتدا به درون گمانه تزریق شد، به آزادی از دهانه گمانه جریان یابد، دوغاب به ته گمانه پمپ می شود. هیچ فشار اضافی بکار گرفته نمی شود. امروزه روشهای ثقلی تنها زمانی استفاده می شوند که شمعها در بستر سنگی اجرا شوند، یا زمانی که شمعهای با ظرفیت پایین، در خاکهای چسبنده سفت و سخت اجرا شوند و تزریق فشاری ضروری نباشد. برای مخلوطهای ماسه ای با فرض اینکه مخلوط حاصل پایدار باقی می ماند، نسبت آب به سیمان اغلب به 0.6 می رسد.

2- تزریق فشاری از میان غلاف (ریزشمع نوع B):

دوغاب ثانویه (مرحله دوم) بعد از اینکه دوغاب اولیه تحت نیروی ثقل ریخته شد، و در حالی که غلاف موقت بیرون کشیده می شود، تحت فشار، تزریق می گردد. هدف بالابردن مشخصه‌ها و خصوصیات مجموعه خاک- دوغاب می باشد. تزریق فشاری معمولاً با اتصال یک کلاهک فشار در بالای غلاف، و تزریق دوغاب ثانویه بداخل غلاف تحت فشار کنترل شده صورت می گیرد. از آنجا که جزئیات سرمته و تکنولوژی پمپ تزریق را نمی توان با لزجت نسبی ملات ماسه - سیمان تطبیق داد، این اواخر ایجاد فشار در دوغاب، با استفاده از اعمال هوای فشرده از میان خط تزریق صورت می گیرد. این روش در حال حاضر با پیشرفتهای صورت گرفته در توان پمپها، در کنار گرایش به استفاده از دوغاب سیمان خالص و مستحکم، بدون ماسه کامل شده است. تا حد امکان، فشار تزریق، جهت محاسبه اتلاف انرژی در مسیر بین پمپ و گمانه، در نزدیکی نقطه تزریق اندازه گیری می شود.

تزریق دوغاب تحت فشار با هدف ارتقاء میزان اصطکاک سطحی بین خاک- دوغاب و در نتیجه بالا بردن ظرفیت باربری ریزشمع می باشد. تجربیات گسترده در خصوص مهارها، موکد تاثیر تزریق فشاری بر ظرفیت باربری نهایی بوده است.

در طی تزریق فشاری در خاکهای دانه‌ای، قدری تراوش و جابجایی در خاکهای سست اتفاق می افتد. همچنین، پدیده‌ای با نام پالایش فشاری رخ می دهد، در حین تزریق فشاری، دوغاب قدری از آب مخلوط سیمان را بیرون زده و داخل خاکهای اطراف رانده می شود. نتیجه این فرآیند باقی ماندن دوغاب تزریق شده با میزان آب کم می باشد که بدین ترتیب سریعتر خود را گرفته و مقاومت بیشتری خواهد داشت. همچنین به نظر می رسد که تزریق فشاری موجب نوعی فشردگی و تراکم مجدد خاک در اطراف گمانه شود و قطر موثر شمع را در ناحیه تزریق شده افزایش دهد. این مکانیزمها به طور موثری تماس و درگیری بین خاک- دوغاب را افزایش می دهند، که منجر به اصطکاک پوسته‌ای بالاتر و عملکرد بهتر، بار- جابجایی می شود. همچنین چنین فشار تزریقی می تواند به طور مکانیکی خصوصیات خاک مابین شمعها را بهبود بخشد.

3- پس تزریق (ریزشمع های نوع C و نوع D)

اعمال فشار تزریق بالای مناسب، در طی مرحله بیرون کشیدن غلاف ممکن نیست. برای مثال، ممکن است موجب ترکهای هیدرولیکی در خاک و یا نشت در اطراف غلاف گردد. متناوباً، بعضی روشهای ساخت و اجرای ریزشمع ها ممکن است احتیاج به استفاده از غلاف موقت نداشته باشد و بنابراین تزریق فشاری در روش نوع B

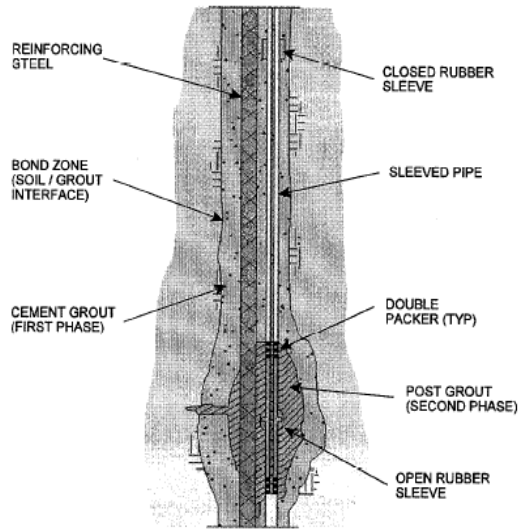
میسر نیست. این شرایط منجر به توسعه روشهای پس تزریق شده است، که به موجب آن دوغاب ثانویه را می توان از طریق لوله های دوغاب مخصوص، اندکی بعد از اجرای دوغاب اولیه تزریق نمود. چنین دوغابهایی همیشه مخلوطی از آب-سیمان خالص می باشند (برای پمپاژ راحت تر)، و بنابراین ممکن است دارای میزان آبی بالاتر از دوغاب اولیه، در محدوده 0.5 تا 0.75 نسبت وزنی باشند. این دلالت بر آن دارد که آب اضافی این مخلوطها با پلایش فشاری در طی عبور از میان خاک به بیرون رانده می شود، و بنابراین دوغاب نهایی تزریق شده میان خاک، میزان آب کمتر و بالطبع مقاومت بالاتری دارد.

فشارهای بالای پس تزریق معمولاً بطور موضعی، برای دوره های تقریباً محدود به کار برده می شوند. این کار ممکن است فقط چند دقیقه جهت تزریق یک پوسته و روکش صورت گیرد. تقسیم بندی های مبتنی بر شیوه ساخت و اجرا ارائه شده، دو نوع از شمعه های پس تزریقی را مشخص می کند، نوع C و نوع D.

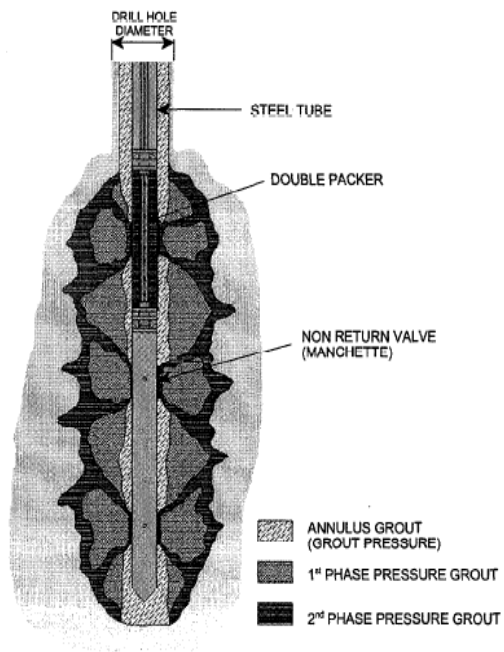
نوع C: دوغاب سیمان خالص به همان روش نوع A در گمانه ریخته می شود. 15 تا 25 دقیقه بعد از ریختن دوغاب و قبل از سخت شدگی دوغاب اولیه، دوغاب مشابهی این بار از سر گمانه بدون پکر، از طریق یک لوله دوغاب روکش دار از پیش جاسازی شده به قطر 38 الی 50 م.م. تحت فشار یک مگاپاسکال تزریق می شود.

نوع D: دوغاب سیمان خالصی مشابه همان روشی که در نوع A صورت گرفت، در گمانه تزریق می شود. وقتی که این دوغاب اولیه سخت شد، دوغاب مشابهی از طریق لوله تزریق روکش دار، تزریق می شود. چندین مرحله از چنین تزریقی میسر می باشد و معمولاً تحت فشاری بین 2 تا 8 مگاپاسکال صورت می گیرد، بویژه در آغاز هر عملیات اصلاح روکش، زمانی که دوغاب محصور کننده اولیه بایستی برای اولین بار قطع گردد. معمولاً یک وقفه حداقل 24 ساعته قبل از مراحل متوالی وجود دارد. سه یا چهار مرحله از تزریق معمول می باشد. حجم دوغاب های ثانویه به میزان 250 درصد حجم دوغاب اولیه می باشد.

لوله پس تزریق می تواند یک لوله پلاستیکی روکش دار با قطر 25 تا 38 م.م باشد (tube a manchette) که در کنار آرماتورهای فولادی قرار داده شده (شکل 2-6). یا می تواند خود لوله تقویتی باشد، که به طور مناسب پوشش داده شده است (شکل 2-7). در هر کدام از این موارد، یک پکر دوپل ممکن است برای تزریق در بین لوله ها از غلاف انتهایی تا به بالا استفاده شود.



شکل 2-6: اصول روش tube a manchette در پس تزریق



شکل 2-7: استفاده از لوله آرماتور به عنوان سیستم پس تزریق tube a manchette

4- تزریق تکمیلی (ثانویه) :

به دلیل نشت، فرار و یا انقباض آرام دوغاب، معمول است که افت سطح دوغاب را کمی قبل از سخت شدگی محاسبه گردد. در عملیات مهار زمین، این مسئله به سادگی با پر کردن گمانه از دوغاب با میزان آب کم، در مراحل بعدی بر طرف می شود. اما، در عملیات اجرای ریزشمع، جایی که یک غلاف دائمی برای آرماتورگذاری در ارتفاع فوقانی شمع استفاده نمی شود، از آنجایی که ستون شمع بایستی برای تحمل بار و دلایل حفاظت از خوردگی پیوسته باشد، بهتر است که از چنین اتصال سردی پرهیز گردد. بنابراین بهتر است برای تضمین صحت کار، مرحله پر کردن در طی مرحله سخت شدگی صورت پذیرد. بویژه جایی که تنش های بین سطحی بالایی بین شمع و سازه موجود بایستی تحمل گردد، استفاده از دوغاب انقباض ناپذیر، با مقاومت بالا ممکن است لحاظ گردد.

2-4- آرماتورگذاری فولادی

میزان آرماتورهای فولادی قرار داده شده در یک ریزشمع، براساس بارگذاری اعمالی به آن و سختی مورد نیاز جهت محدود کردن جابجایی الاستیک، تعیین می شود. آرماتورگذاری ممکن است شامل یک میلگرد منفرد، یک گروه از میلگردها، یک غلاف فولادی یا فولاد سازه ای نورد شده باشد.

2-4-1- جایگذاری آرماتورها

آرماتورها را هم می توان قبل از تزریق جایگذاری نمود، و یا اینکه، قبل از آنکه غلاف موقت بیرون کشیده شود درون دوغاب ریخته شده درگمانه قرار داد. آرماتورها بایستی عاری از اجزاء زیان آور همچون خاک و گل سطحی باشد زیرا ممکن است دوغاب یا آرماتور را آلوده کرده و کیفیت مجموعه خاک- دوغاب را معیوب سازد. آرماتورها بایستی توسط نگهدارنده هایی با دقت در مرکز قرار داده شوند تا با پوشش دوغاب لازم محافظت گردند.

2-4-2- انواع آرماتورها

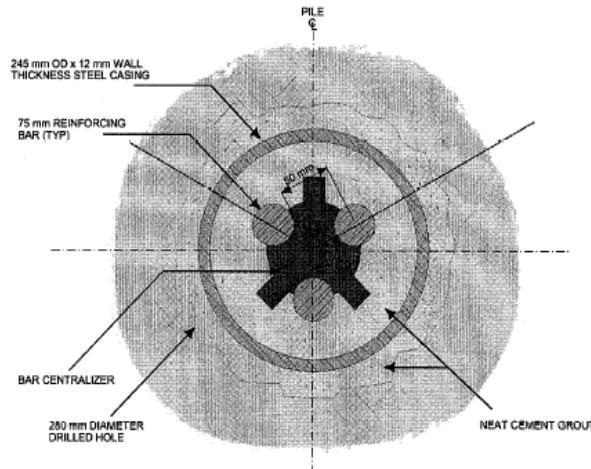
1- میلگردهای فولادی تقویت بتن (میلگردهای آجدار) :

معمولاً، فولاد تقویتی استاندارد (جدول 2-1)، منطبق با استاندارد

ASTM A615/AASHTO M3 and ASTM A706 ، با تنش گسیختگی 420 تا 520 مگاپاسکال مورد

استفاده قرار می گیرد. اندازه میلگردها از قطر 25 م.م تا 63 م.م متغیر است. معمولاً از یک میلگرد منفرد

استفاده می شود، اما استفاده گروهی از میلگردها نیز وجود دارد. برای یک گروه، تک تک میلگردها را می توان با استفاده از جداکننده یا بستن به آرماتورهای مارپیچی، برای تامین فضا جهت جریان دوغاب بین آرماتورها و تضمین وجود حجم لازم بین میلگردها و دوغاب (شکل 2-8) جدا نمود. برای شرایطی که ارتفاع محل کار کم است، جایی که جایگذاری طول کامل آرماتورها میسر نیست، می توان از متصل کننده های مکانیکی استفاده نمود.



شکل 2-8: تقویت با چند میلگرد به همراه جداکننده مرکزی

	نوع 420						نوع 520			
اندازه میلگرد (mm)	25	29	32	36	43	57	36	43	57	63
مساحت (mm ²)	510	645	819	1006	1452	2581	1006	1452	2581	3168
تنش گسیختگی (kN)	211	267	339	416	600	1068	520	751	1334	1742
مقاومت نهایی (kN)	316	400	508	624	901	1601	690	997	1770	2168

فولاد درجه 420 دارای تنش گسیختگی $f_y = 420 \text{ MPa}$ و مقاومت کششی $f_u = 620 \text{ MPa}$ می باشد.

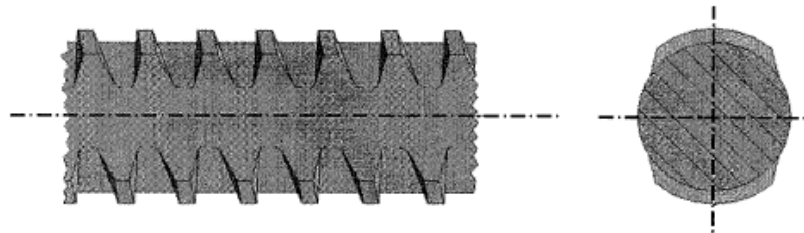
فولاد درجه 520 دارای تنش گسیختگی $f_y = 520 \text{ MPa}$ و مقاومت کششی $f_u = 690 \text{ MPa}$ می باشد.

جدول 1-2: ابعاد، و مقاومت های نهایی و گسیختگی برای میلگردهای تقویتی استاندارد

2- میلگردهای فولادی آجدار پیوسته :

سیستم میلگرد آجدار (DSI (Dywidag system International)، که همچنین بنام شمع GEWI شناخته می شود (شکل 2-9) ، در سرتاسر جهان جهت تقویت ریزشمع ها، انتخابی رایج می باشد. میلگرد یک گام شیار تیز گوشه دارد، که در طی فرآیند تولید بطور پیوسته بر روی آن نورد شده است. این میلگردها در قطرهای 19 تا 63 میلیمتر از جنس فولادهایی منطبق با استاندارد ASTM A615/AASHTO M31 ، با تنش گسیختگی 420، 520 و 550 مگاپاسکال موجود می باشند.

میلگرد با قطرهای 44 تا 63.5 میلیمتر بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. میلگردهای فولادی با مقاومت بالا، منطبق با استاندارد ASTM A722/ASHTO M275 ، با مقاومت نهایی 1035 مگاپاسکال نیز، در قطرهای 26 ، 32 و 36 میلیمتر موجود می باشند.



شکل 2-9: جزئیات میلگرد تماماً آجدار Dywidag (DSI, 1993)


آج میلگردها نه تنها تضمین کننده تشکیل مجموعه دوغاب- فولاد می باشد، بلکه همچنین اجازه می دهد که بتوان میلگردها را در نقطه ای قطع کرده و برای اعاده کردن ظرفیت باربری کششی- فشاری کامل به یک متصل کننده وصل نمود. همچنین آج پیوسته، اتصال شمع به سازه، جایی که میلگرد به صفحه مهار وصل می شود را تسهیل می کند. از یک مهره شش گوش جهت اتصال به صفحه استفاده می شود، با آج پیوسته، تنظیم موقعیت صفحه راحت تر می باشد.

3- میلگردهای فولادی آجدار تو خالی :

میلگردهای تقویتی فولادی که مغزه تو خالی دارند و طول آنها تماماً آجدار می باشد، شامل Dywidag (نوع MAI) ، Ischebeck Titan و Chance IBO Injrcytion Boring Roda می باشند. این گونه میلگردها هم مزیت آجدار بودن را دارند و هم اینکه مغزه تو خالی اجازه می دهد که از میلگرد جهت حفاری گمانه شمع استفاده

گردد. یک سر مته به انتهای میلگرد نصب می‌شود و میلگرد در حالیکه دوغاب از میان سوراخ میلگرد به سمت سرمته پمپ می‌شود حفاری می‌کند. متعاقباً، می‌توان از سیالی مانند آب یا هوا، جهت انتقال دوغاب از درون میلگرد بعد از حفاری و تا عمق نهایی استفاده نمود.

آج پیوسته اجازه قطع شدن و پیوند داده شدن را به میلگرد می‌دهد، و امکان استفاده از مهره‌های شش گوش برای اتصال سر شمع را میسر می‌سازد. اشکال عمده این نوع آرماتورها، هزینه بالای آن است. جدول 2-2 اندازه های مختلف و ظرفیت های مقاومتی را برای MAI ، Titan ، IBO ارائه می کند.



اندازه میله	تنش گسیختگی (kN)	ظرفیت (kN)				قطر (mm)		وزن (kg/m)
		نهایی %100	آزمایش %80	بار طرح %70	بار طرح %60	داخلی	بیرونی	
MAI R32N	150	200	160	140	120	12	25	2.6
MAI R25N	230	280	224	196	168	18	32	3.5
MAI R38N	430	500	400	350	300	19	38	6.0
MAI R51N	630	800	640	560	480	34	51	9.6
Titan 40/16	525	660	528	462	396	16	40	6.9
Titan 75/53	970	1160	928	812	696	53	73	12.8
Titan 103/78	1570	1950	1560	1365	1170	78	103	24.7
IBO	160	190	152	133	114	12	25	2.5

R2512								
IBO 3220	220	250	200	175	150	19	30	3.5
IBO 3817	420	490	392	343	294	17	38	6.6

جدول 2-2: میلگردهای تزریق از سوراخ مغزه

4- غلاف فولادی شمع :

با گرایش به سمت ریزشمع‌هایی که بتوانند بارهای بیشتری را با جابجایی‌های کم تحمل کنند و قادر باشند بارهای جانبی را تحمل کنند، تقویت شمع فولادی رایج تر گردیده است. تسلیح و تقویت شمع می‌تواند مساحت قابل توجهی فولاد، جهت تحمل بارهای وارده و سختی شمع تامین کند، در حالی که ظرفیت برشی و خمشی معقولی را جهت مقاومت در برابر بارهای جانبی تامین می‌کند.

تسلیح و تقویت شمع، هم می‌تواند با استفاده از غلاف حفاری به عنوان یک تقویت کننده دائم، و یا با جایگذاری یک غلاف و لوله دائم با قطر کوچکتر، درون غلاف حفاری ایجاد گردد. طول قطعات شمع مورد استفاده، توسط طول دکل مته و با ارتفاع آزاد فضای کار، مشخص می‌شود. قطعات غلاف در داخل شمع معمولاً با یک اتصال پیچی به هم متصل می‌شوند. سطح کاهش یافته اتصال آجدار بایستی در طرح سازه‌ای شمع، بویژه برای ظرفیت باربری کششی و خمشی لحاظ گردد.

لوله‌هایی با اندازه‌های متعارف که برای ساخت و اجرای ریزشمع‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، از جنس فولادهای منطبق بر استاندارد ASTM A53, A519, A252 and A106 با مقاومت گسیختگی 241 مگاپاسکال موجود می‌باشند. ایراد عمده استفاده از این نوع لوله‌ها و غلاف‌ها، مقاومت گسیختگی نسبتاً پایین آنها و هزینه بالای آنها برای هر متر طول می‌باشد.

مقاومت گسیختگی بالا در حدود 551 مگاپاسکال، کمک شایانی جهت تحمل بارهای وارده به ریزشمع‌ها کرده، و مقاومت اتصالات آجدار صیقل داد شده را بهبود می‌بخشد. در بسیاری از ریزشمع‌های با ظرفیت بالا، اجرا شده در ایالت متحده از غلاف N-80 استفاده شده است. بدلیل مقاومت بالا و ترکیبات شیمیایی غلاف API N-80،

قابلیت جوش خوری غلاف، مستلزم استفاده از فرآیند جوشکاری مخصوصی می‌باشد. ابعاد لوله‌ها و مقاومت گسیختگی آن، برای انواع مختلف فولادها، در جدول 2-3 ارائه شده است.

لوله API N-80 – اندازه های معمول				
244.5	177.8	177.8	139.7	Casing OD Wall (mm)
11.99	18.54	12.65	9.17	ضخامت (mm)
8756	9276	6563	3760	مساحت (mm ²)
4829	5117	3619	2075	مقاومت گسیختگی (kN)

لوله ASTM A519 , A106 – اندازه های معمول				
273.1	203.2	168.3	141.3	Casing OD Wall (mm)
15.9	12.74	12.7	12.7	ضخامت (mm)
12820	8230	6204	5128	مساحت (mm ²)
4794	3075	2319	1919	مقاومت گسیختگی (kN)

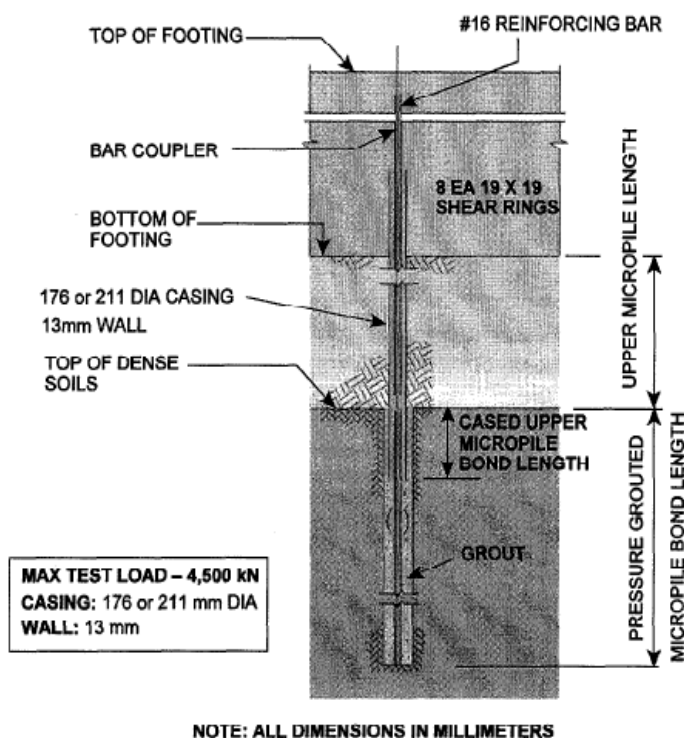
جدول 2-3: مقاومت گسیختگی و ابعاد لوله های مرسوم ریزشمع

نکته :

- قطر خارجی غلاف (OD) و ضخامت دیوار (t) ابعاد اسمی و ظاهری می باشند.
- مساحت فولاد با رابطه $A_s = (\pi/4) * (OD^2 - ID^2)$ بدست می آید.
- تنش گسیختگی اسمی برای API N-80 برابر $F_y = 551 \text{ MPa}$ می باشد.
- تنش گسیختگی اسمی برای ASTM A519 & A106 برابر $F_y = 241 \text{ MPa}$ می باشد.

5- سیستم تقویتی مرکب :

برای ریزشمع های با غلاف گذاری دائمی با طول جزئی، استفاده از یک میلگرد فولادی برای تقویت بخشهای تحتانی شمع رایج می باشد، که منجر به ساخت شمعهای تقویت شده مرکب می شود (شکل 2-10). ممکن است میلگرد تقویتی، به منظور تحمل بارهای کششی، تا بالای ریزشمع ادامه داشته باشد.



شکل 2-10: جزئیات ریزشمع مرکب ظرفیت بالای نوع B1

2-4-3- محافظت آرماتورها در برابر خوردگی

ساده ترین و رایج ترین آزمایش کاربردی برای اندازه گیری قدرت تهاجمی محیط خاکی، شامل مقاومت ویژه الکتریکی، تعیین PH، کلراید و سولفات می باشد. بر طبق استاندارد FHWA-RD-89-198، اگر هر کدام از این شاخصه ها، همان طور که در جدول 2-4 آمده است، مقدار بحرانی را نشان دهد، زمین از نوع مهاجم در نظر گرفته می شود.

مورد	مشخصه آزمایش	مقدار بحرانی
مقاومت ویژه	AASHTO T-288 ASTM G 57	کمتر از 2000 اهم - سانتی متر
PH	AASHTO T-289 ASTM G 51	کمتر از 5
سولفات	AASHTO T-289 ASTM 516M ASTM D4327	بیشتر از 200 ppm
کلراید	AASHTO T-291 ASTM 512 ASTM D4327	بیشتر از 100 ppm

جدول 2-4: مقادیر بحرانی خوردگی

روشهای محافظت میلگردهای تقویتی در برابر خوردگی:

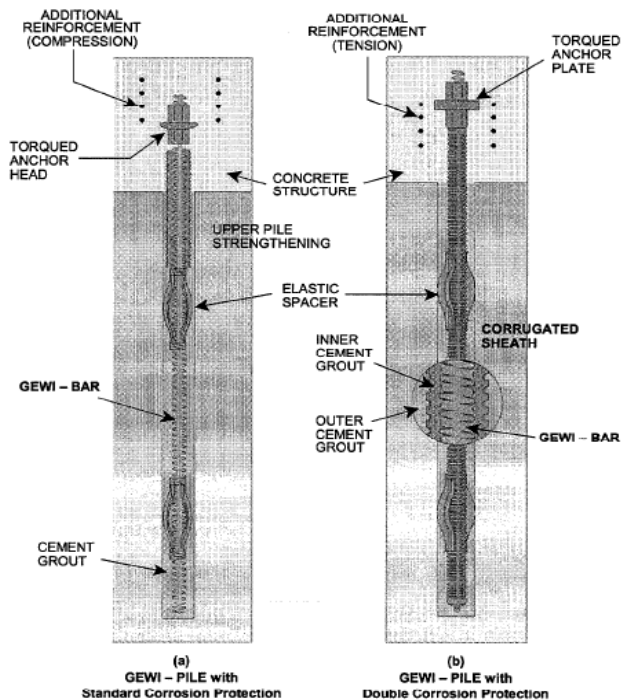
1- محافظت میلگردها فقط با دوغاب:

متمركزکننده ها در امتداد طول میلگرد (شکل 2-10-الف)، جهت تضمین پوشش کافی دوغاب بین میلگرد و دیواره های گمانه بکار برده می شوند. همچنین استقرار آرماتورها در دوغاب به لحاظ سازه‌ای برای شمعهای فشاری مطلوب می‌باشد. به طور بین المللی، آئین نامه های مختلف حداقل پوشش 20 تا 30 میلیمتر را لازم می دانند.

2- حصارهای محافظ (پوشش اپوکسی) میلگردهای تقویتی:

در مواردی که یک پوشش دوغاب با ضخامت کافی نتواند متضمن امر محافظت گردد، ممکن است محافظ اضافی، لازم باشد. زمانی که شمع در زمین‌های مهاجم ساخته شده است، یا ممکن است آرماتورگذاری، موجب پیدایش ترکهای کششی در دوغاب گردد، خود این امر موجب گشایش مسیری جهت خوردگی فولاد می‌گردد. انتخابهایی برای حصارهای محافظ از جمله، ایجاد یک پوشش بر روی میلگرد، مانند یک پوشش اپوکسی

الکترواستاتیکی، یا ایجاد یک پوشش جلدی (کپسوله کردن)، مانند پلاستیک چین دار، همراه با دواير متحدالمرکزی بين ميلگرد و پوشش جلدی که با دوغاب مقاومت بالا و غير انقباضی پر شده باشد. استفاده از جلد چین دار پر شده از دوغاب یک طرح رایج ، و اغلب بیانگر یک محافظت خوردگی دابل است(شکل 2-10-ب). برای ریزشمع های با سیستم تقویتی ترکیبی (ميلگرد و غلاف یا لوله)، لوله دائمی پر شده از دوغاب، نقش محافظتی را به روشی مشابه با روش کپسوله کردن برای بخشهای فوقانی ميلگرد پوشش داده شده با لوله، ایفاء می کند. همچنین حفاظت ممکن است برای بخشهای پوشش نداده لوله نیز لازم باشد.



شکل 2-11 : الف- شمعهای GEWI با محافظت دوغابی ، و ب- محافظت خوردگی دابل (Courtesy DSI)