2nd National Conference on New Material and Structures
دومین کنفرانس ملی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

کاربرد آلیاژهای حافظه دار شکلی در سازه های بتنی

حسین خورشیدی[1]، سید مسعود میرطاهری[2]، نادر فنائی[3]

۱–دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران– سازه، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲–دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳–استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

HN10105480336

چکیده

آلیاژ های حافظه دار شکلی (SMAs) دسته منحصر به فردی از فلزات هستند که می‌توانند تغییر شکل و کرنش‌های دائمی که بر آن‌ها اعمال می‌شود را بازیابی نموده و در نهایت، به شکل اولیه‌ی خود بازگردند. دو مکانیزم برای برگشت پذیری تغییر شکل‌ها در مواد حافظه دار وجود دارد. اثر حافظه داری و اثر ابر کشسانی که در اثر تبدیل فازهای آستنیت و مارتنزیت در دماهای مختلف و یا در اثر بارگذاری و باربرداری به وجود می آید. سازه های بتن مسلح در مواجه با زلزله های قوی، جابه‌جایی‌های بزرگی را تجربه می‌کنندکه منجر به کرنش‌های قابل توجهی در آرماتور های فولادی می گردد. بیش‌تر کرنش‌های فولادی دائمی هستند و منجر به تغییر شکل‌های باقی مانده در سازه و غیر قابل استفاده بودن سازه‌ها بعد از زلزله می‌شوند. ماده جایگزین که به عنوان آرماتور پیشنهاد می‌شود SMA های ابرکشسان هستند که کرنش‌ها را تحت باربرداری بازیابی می‌کنند.هدف از این مقاله، مرور مطالعاتی است که تا کنون بر روی عملکرد و رفتار اعضا و سازه های بتنی مسلح شده با آلیاژ حافظه دار شکلی انجام شده است.

کلمات کلیدی: آلیاژ حافظه دار شکلی، سازه های بتن مسلح، اثر ابرکشسانی، کرنش دائمی

مقدمه

نقشهٔ پهنه بندی لرزه خیزی ایران نشان دهندهٔ این است که هیچ نقطه ای از کشورمان را نمی‌توان در مقابل اثر زلزله مصون پنداشت. بنابراین طراحی و ساخت سازه هایی که به طور مناسب بتوانند در مقابل زلزله ها پایدار باشد الزامی است. علاوه بر این ها، گزارشات حاکی از آسیب ساختمان‌های بتن مسلح در مواجهه با زلزله است. استهلاک انرژی زلزله در این ساختمان‌ها از طریق جاری شدن آرماتورها و تغییرشکل های غیر الاستیک است. اگرچه ایمنی جانی تأمین می گردد، اما تغییرشکل ساختمان‌های بتنی منجر به آسیب‌ها و خسارات اقتصادی می گردد. اخیراً طراحی لرزه ای سازه‌ها بر اساس عملکرد می‌باشد که به اعضا و سیستم‌های سازه‌ای نیازمند است که دارای ظرفیت تغییرشکلی و شکل پذیری بیشتر، مقاومت بیشتر در برابر آسیب‌ها و کاهش دهنده و بازیابنده تغییرشکل های دائمی باشند. به همین منظور از آلیاژ حافظه دار شکلی به عنوان آرماتور استفاده شده است. آلیاژ حافظه دار شکلی ماده منحصر به فردی است که قابلیت غلبه بر تغییرشکل های بزرگ و بازگشت به حالت اولیه قبل از بارگذاری را دارا می‌باشد.هدف از این مقاله، مرور مطالعاتی است که تا کنون بر روی سازه های بتنی مسلح شده با آلیاژ حافظه دار انجام شده است.

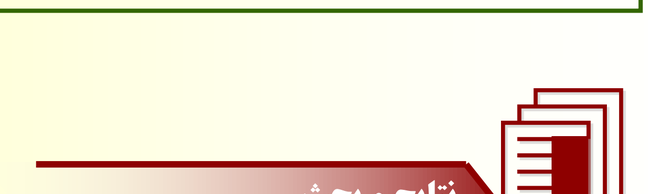
روش تحقیق

در این پژوهش با توجه به مطالعات صورت گرفته ابتدا به بررسی آلیاژهای حافظه دار شکلی شامل مروری بر تاریخچه و بررسی پدیده تغییر فاز در آن ها و همچنین بررسی دقیق رفتار حافظه داری و رفتار ابر کشسان آن ها پرداخته شده است.
سپس به بررسی مطالعات و آزمایش های انجام شده در زمینه کاربرد آلیاژهای حافظه دار در سازه ها و المان های بتن مسلح پرداخته شد و از مجموع مطالعات بررسی شده نتیجه گیری گردید.

نتایج و بحث

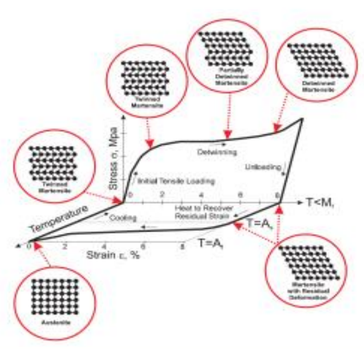
- معرفی آلیاژهای حافظه دار شکلی (SMAs)

اولین مشاهدات از رفتار حافظه دار شکلی در سال ۱۹۳۲ توسط اولاندر در مطالعه‌اش درباره اثر لاستیک مانند در نمونه های طلا کادمیم می باشد. در سال ۱۹۶۲ ویلیام بوهلر و همکارانش در آزمایشگاه مهمات نیروی دریایی آمریکا اثر حافظه شکلی را در آلیاژ نیکل و تیتانیوم (Ni-Ti)کشف کردند و نام ماده را به دلیل محل کارشان نایتینول (NiTiNOL)گذاشتند[۱]. آلیاژ های حافظه دار معمولاً به صورت یکی از دو فاز مارتنزیت و آستنیت ، پایدار می‌باشند. به طور کلی، فاز مارتنزیت در دماهای پایین و تنش‌های بالا پایدار است در حالی که فاز آستنیت، در دماهای بالا و تنش‌های پایین پایدار می‌باشد. آستنیت ساختار بلوری مکعبی و متقارن دارد و همین تقارن موجب مقاوم‌تر بودن آن شده در حالی که مارتنزیت ساختاری متوازی‌الاضلاع گونه و نامتقارن دارد و به همین جهت مقاومت کمتری دارد [۲]. طرح کلی هر دو فاز آستنیت و مارتنزیت به صورت دو بعدی در شکل ۱ نشان داده شده است.



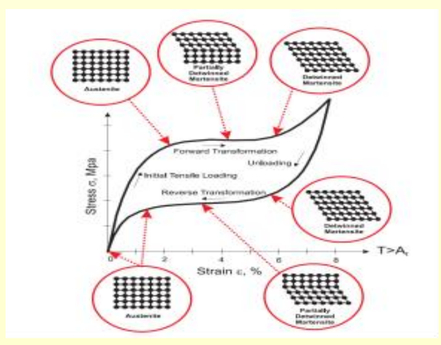
شکل ۱ – نمایش طرح کلی ریز ساختار نمونه ای از آلیاژ حافظه دار شکلی [۲]

دو مکانیزم برای برگشت پذیری تغییر شکل‌ها در مواد حافظه دار وجود دارد. اثر حافظه داری و اثر ابر کشسانی. اثر حافظه داری در دمای کمتر از Mfرخ می‌دهد (ماده به شکل مارتنزیت به اشکال مختلف باشد). شکل ۲ منحنی تنش کرنش با وقوع تبدیل حافظه داری را نشان می‌دهد.



شکل۲– منحنی تنش– کرنش SMA با اثر حافظه شکلی [۴]

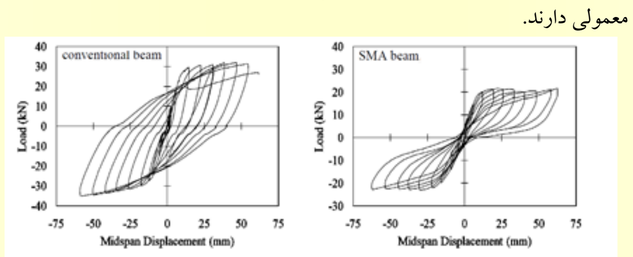
دومین طریقه بازگشت شکل در مواد حافظه دار، رفتار ابرکشسان آن‌هاست. این رفتار، در دمای بالاتر از A_fکه ماده حافظه دار در شروع بارگذاری در فاز آستنیت می‌باشد، رخ می‌دهد. شکل ۳ منحنی تنش کرنش رفتار ابرکشسان را نشان می‌دهد.



شکل۳– منحنی تنش– کرنش SMA با اثر ابر کشسانی [۴]

- کاربرد آلیاژهای حافظه دار شکلی در اعضا و سازه های بتن مسلح

ابدولریها و همکاران [۶] در یک برنامه جامع آزمایشگاهی در دانشگاه اوتاوا به بررسی استفاده از میلگرد های SMA در ناحیه مفصل پلاستیک تیرها و دیوار های برشی بتن مسلح پرداختند. نتایج آزمایش تیر نشان می‌دهد که اعضا با آرماتور SMAقابلیت بازگردانندگی دارند و مقاومت و شکل پذیری تغییرمکانی مشابه اعضا با آرماتور معمولی دارند.

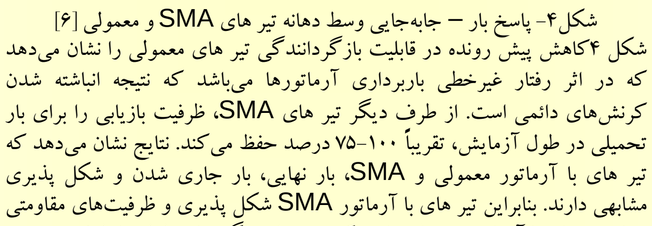


شکل۴– پاسخ بار – جابه‌جایی وسط دهانه تیر های SMA و معمولی [۶]

شکل ۴کاهش پیش رونده در قابلیت بازگردانندگی تیر های معمولی را نشان می‌دهد که در اثر رفتار غیرخطی باربرداری آرماتورها می‌باشد که نتیجه انباشته شدن کرنش‌های دائمی است. از طرف دیگر تیر های SMA، ظرفیت بازیابی را برای بار تحمیلی در طول آزمایش، تقریباً ۱۰۰–۷۵ درصد حفظ می کند. نتایج نشان می‌دهد که تیر های با آرماتور معمولی و SMA، بار نهایی، بار جاری شدن و شکل پذیری مشابهی دارند. بنابراین تیر های با آرماتور SMA شکل پذیری و ظرفیت‌های مقاومتی مشابه تیر های با آرماتور معمولی دارند که به وسیله میلگردهای طولی با ظرفیت نیرویی جاری شدن مشابه تأمین می‌شود. میانگین ظرفیت بازیابی تیر های SMA ۹۰٪ در سراسر آزمایش بوده است در صورتی که تیر های معمولی به طور میانگین ۲۵٪ بازشدگی ترک‌ها را بازیابی کردند.

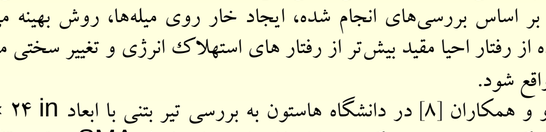
چادرسکی و همکاران [۷] رفتار تیر بتنی مسلح شده با سیم‌هایی از جنس آلیاژ حافظه دار را با آزمایش مورد بررسی قرار دادند و با تیر بتن مسلح معمولی مقایسه کردند. نتایج آزمایش بیانگر امکان استفاده از سیم‌های حافظه دار شکلی در تیر های بتن مسلح به منظور به دست آوردن سختی و مقاومت متغیر می‌باشد. علاوه بر این یک پیش تنیدگی متغیر نیز در میله های حافظه دار شکلی ایجاد گردید و با انجام آزمایش، رفتار های متفاوت آلیاژ های حافظه دار شکلی مانند رفتار حافظه داری شکلی، اثر احیا مقید و روابط تنش – کرنش در دماهای مختلف به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، نکته مهم، لزوم توجه به نحوه ساخت مواد در کارخانه و نورد گرم انجام شده بر روی مواد به منظور کاهش تغییرشکل های پسماند روی آن‌ها می‌باشد. نکته دیگر چگونگی ایجاد چسبندگی کافی بین میله های آلیاژ حافظه دار شکلی و بتن است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، ایجاد خار روی میله‌ها، روش بهینه می‌باشد. استفاده از رفتار احیا مقید بیش‌تر از رفتار های استهلاک انرژی و تغییر سختی می‌تواند مفید واقع شود.

اترو و همکاران [۸] در دانشگاه هاستون به بررسی تیر بتنی با ابعاد ۶ in × ۲۴ in × ۴in که به صورت پس کشیده با استفاده از چهار مفتول SMA به قطر ۱ / ۸ in مسلح شده بود پرداختند. سپس باری به مقدار ۱۱۰۰۰ lbs به تیر اعمال شد و در اثر آن ترک بزرگی در تیر ایجاد گردید. بعد از باربرداری عرض ترک ایجاد شده توسط نیروی بازگرداننده‌ی SMA کاهش یافته و تیر به حالت اولیه خود بازگشت (شکل ۵)



شکل ۵– بسته شدن ترک‌ها بعد از بارگذاری [۸]

سونگ و همکاران [۹] برای اولین بار مفهوم بتن مسلح هوشمند (IRC) را مطرح کردند. در این بتن از سیم‌های مارتنزیتی برای پس کشیدگی استفاده شد. توزیع کرنش در داخل این بتن‌ها با کنترل مقاومت الکتریکی مفتول‌های SMA با استفاده از پیزوسرامیک ها ارزیابی می‌شود و زمانی که ترک ایجاد می گردد، به وسیله‌ی گرمایش الکتریکی، مفتول SMA منقبض و جمع می‌شوند و در نتیجه اندازه ترک کاهش می‌یابد. این نوع بتن به دلیل دارا بودن قابلیت تشخیص ترک و خود ترمیمی، هوشمند نامیده می‌شود. برای بررسی این قابلیت چندین نمونه کوچک بتنی به ابعاد ۲ in × ۶ in × ۵/۱۳ را مورد آزمایش خمش سه نقطه ای قرار دادند. (شکل ۶).



شکل ۶– نمونه بتنی و مراحل بارگذاری و باربرداری [۹]

ابدولریها و همکاران [۱۰] در یک برنامه آزمایشگاهی متصل کننده های پیچ دار را در تیرهای بتن مسلح و متصل کننده های قفل شونده پیچی را در دیوار برشی مورد بررسی قرار دادند. هر دو نوع سیستم متصل کننده تحت بارگذاری چرخه ای مورد آزمایش قرار گرفتند (شکل۷) سیستم‌های متصل کننده عملکرد رضایت بخشی از خود نشان دادند ؛ هیچ لغزش و گسیختگی ناگهانی در بازه کرنش‌های ابرکشسان SMA مشاهده و ثبت نشد.

شکل۷ – سمت چپ : سیستم متصل کننده پیچ دار استفاده شده در تیرها، سمت راست : سیستم متصل کننده قفل شونده پیچی استفاده شده در دیوار برشی [۱۰]

آزمایشات تیر نشان داد که وجود متصل کننده‌ها می‌تواند بر رفتار عمومی تأثیرگذار باشد. هم چنین امکان بهبود رفتار تیر های SMAبا تنظیم محل قرارگیری متصل کننده‌ها وجود دارد. یکی دیگر از معایب SMA، مدول الاستیسیته پایین آن می‌باشد که منجر به تغییر شکل‌های بزرگ‌تر در حالت تسلیم می‌شود. بنابراین اگر چه تیر های با آرماتور SMA در محدود کردن پهنای ترک بعد از حذف بار تأثیرگذار می‌باشند، اما پهنای ترک بزرگ بوده و فضای زیادی دارند. (شکل۸)

شکل۸ – سمت چپ : نحوه ترک خوردن تیر های SMA و سمت راست : نحوه ترک خوردن تیر های متداول [۱۰]

میلگرد های نرم SMA باعث به وجود آمدن ترک‌های با فاصله بیشتر و پهنای بزرگ‌تر می‌شوند. در تیر های با آرماتور های معمولی، ترک‌های با پهنای زیاد، نگرانی‌هایی در حالت استفاده از آن‌ها ایجاد می کند. این نگرانی‌ها مخصوصاً در مورد پتانسیل خوردگی آن‌ها می‌باشد. اما SMA ها در برابر خوردگی مقاوم می‌باشند، بنابراین ترک‌های با پهنای بزرگ‌تر می‌توانند در اعضا با آرماتور SMAمی‌توانند تحمل گردند. اما بر اساس زیبایی شناسی، پهنای زیاد ترک‌ها مطلوب نمی‌باشد.

نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا به بررسی آلیاژهای حافظه‌دار شکلی شامل مروری بر تاریخچه و بررسی پدیده تغییر فاز در آن‌ها، بررسی دقیق خاصیت حافظه داری و رفتار ابرکشسان آلیاژها پرداخته شده است. سپس پژوهش ها و آزمایشات صورت گرفته بر روی کاربرد آلیاژ حافظه دار شکلی در اعضا و سازه های بتنی ارائه گردیده است. نتایج تحقیقات بیانگر افزایش ظرفیت بازیابی شکل و کاهش تغییر مکان ماندگار در اعضای بتنی در اثر استفاده از آلیاژ حافظه دار شکلی می باشد. همچنین تحقیقات بیانگر لزوم طراحی صحیح تیر های مسلح شده با SMA به منظور کاهش جابه جایی ها تحت بارهای بهره برداری می باشد.

مراجع

1. Schetky L. M.,(1979), “Shape-Memory Alloys”, Scientific American, Vol. 241, No. 5.
2. Wayman, C. M. and Duerig, T. W., (1990), “An introduction to martensite and shape memory.” Engineering aspects of shape memory alloy,Butterworth Heinemann, Boston.
3. G. Song, N. Maa, H.-N. Li., (2006) , “Applications of shape memory alloys in civil structures” Engineering Structures 28 1266–1274.
4. McCormic, J. ,(2006), “Cyclic Behavior of Shape Memory Alloys: Material Characterization and Optimization” Ph.D. thesis, School of Civil and Enviromental Engineering, Georgia Institute of Technology.
5. DesRoches, R., McCormick, J., and Delemont, M. , (2004), “Cyclic properties of superelastic shape memory alloy wires and bars.” Journal of Structural Engineering, 130(1) , 38–46.
6. Abdulridha, A., Palermo, D., and Foo, S.,(2010),“Seismic Behaviour of SMA Reinforced Concrete Beams” 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering: Reaching Beyond Borders, Toronto, Canada.
7. Czaderski C, Hahnebach B , Motavalli M, (2005), “RC beam with variable stiffness and strength” Construction and building material.
8. Otero K.,(2004), “ Intelligent reinforced concrete structures using shape memory alloys” MSc Dissertation, under the supervision of Prof G.Song; university of Houston.
9. Mo Yl, Song G, Otero K.,(2004), “Development and testing of a proof-of-concept smart concrete structures”. Proceeding of Smart Structures Technologies and Earthquake Engineering.
10. Abdulridha A. , Palermo D and Simon F.,(2011), “Superelastic SMA Reinforced Concrete Elements: Applicability and Practicality”. fib Symposium, Session 2B-9: Construction Technology, PRAGUE.

View publication stats