دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم پایه ،گروه فیزیک

پایان **نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد(M.Sc)**

گرایش:حالت جامد

عنوان:

بررسی خانواده آلیاژ های حافظه دار Ni_2MnGa

استاد راهنما:

دکتر ناصر زارع دهنوی

استاد مشاور:

آقای فرهاد توکلی

پژوهشگر:

منصوره رزازان

تابستان ۱۳۹۰

ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Central Tehran Branch

Faculty of Science -Department of Physic

M.Sc Thesis

on Solid State

Subject:

Study shape memory alloys of Ni_2MnGa

Thesis Advisor:

Dr.Naser Zare Dehnavi

Consulting Advisor:

Mr Farhad Tavakoli

BY:

Mansoreh Razzazan

Summer 2011

تشکر و قدر دانی :

بر خود لازم می دانم که از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر ناصر زارع دهنوی که با راهنمایی های ارزنده خود مرا در انجام این پایان نامه یاری فرمودند کمال تشکر و قدردانی را بنمایم.

و با تشکر از استاد گرامی جناب آقای فرهاد توکلی که مشاورت این پایان نامه را تقبل فرمودند.

از خداوند منان برای این بزرگواران سلامتی و توفیق روز افزون را خواستارم.

تقدیم به:

پدرم که راهنمایی ها و دلگر می هایش همواره چراغ راه زندگیم بود،

مادرم که حضورش روشنی بخش وجودم بوده،

و همسرم که نوید بخش موفقیت و نشاط در زندگیم بوده است.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول:بررسی ساختار کریستالی آلیاژ های حافظه دار

مقدمه..... ۱

۱-۱معرفی ساختار آلیاژ های حافظه دار..... ٤

۱-۲ دگرگونی مارتنزیت..... ٦

۱-۲-۱ دگرگونی های نفوذی..... ٦

۱-۲-۲دگرگونی های بدون نفوذ..... ۹

۱-۲-۳ بررسی دگرگونی های مارتنزیت..... ۱۲

۱-۲-۳-۱ ویژگی های بدون نفوذ..... ۱۲

۱-۲-۳-۲ کریستالوگرافی مارتنزیت..... ۱۷

۱-۲-۳-۳ خلاصه ای از کریستالوگرافی مارتنزیت..... ۲٤

۱-۳ آلیاژ های حافظه دار..... ۲۷

۱-۳-۱ اثر حافظه داری..... ۳۰

۱-۳-۲ آلیاژهای حافظه دار ترموالاستیک..... ۳٤

۱-۳-۳ آلیاژهای حافظه دار فرومغناطیس..... ۳۵

۱-۳-٤ میدان مغناطیسی القا کننده کرنش..... ۳۸

۱-۳-۵ مکانیسم کرنش..... ٤۰

فصل دوم:دگرگونی های فاز در آلیاژ های حافظه دارNiMnGa

۲-۱مارتنزیت NiMnGa..... ٤۲

۲-۱-۱ معرفی..... ٤۲

۲-۱-۲ ساختار کریستالی ماتنزیتNiMnGa ٤۳

۲-۱-۳ تشکیل انواع مارتنزیت در آلیاژ حافظه دار NiMnGa..... ٤۹

۲-۱-٤ مطالعات تجربی NiMnGa..... ۵۱

فصل سوم:بررسی ویژگی های مغناطیسی در آلیاژ های حافظه دار$Ni_{2+x}\ Mn_{1-x}\ Ga$

مقدمه..... ۵۵

۳-۱ ساختار کریستالی و ویژگی های مغناطیسی در سیستم$Ni_{2+x}\ Mn_{1-x}\ Ga$..... ۵٦

۳-۲ آماده سازی نمونه و اندازه گیری ها..... ۵۷

۳-۳ نتایج آزمایشات..... ۵۷

فصل چهارم:ساختار و ویژگی های الکترونیکی Ni2MnGa

٤-۱ محاسبات FPLAPW..... ٦۷

٤-۲ کاندیداهایی برای آلیاژ های حافظه دار مغناطیسی..... ٦۹

٤-۳ روش..... ۷۳

٤-٤ پایداری فاز های تتراگونال..... ۸٤

فصل پنجم:مفاهیم

۵-۱ کرنش..... ۸۷

۵-۱-۱ کرنش مهندسی..... ۸۸

۵-۱-۲ کرنش نرمال..... ۸۹

۵-۱-۳ کرنش برشی..... ۹۱

۵-۲ تنش..... ۹۲

۵-۲-۱ تانسور تنش..... ۹۲

۵-۳ تئوری میدان بلور..... ۹۳

۵-٤ انحراف یان تلر..... ۹٤

۵-۵ ناهمسانگردی مغناطیسی..... ۹۸

۵-۵-۱ ناهمسانگردی در کریستال های مکعبی..... ۹۸

۵-۵-۲ ناهمسانگردی در کریستال های هگزاگونال..... ۱۰۳

۵-۵-۳ منشا فیزیکی ناهمسانگردی در کریستال..... ۱۰٤

۵-٦ مغناطو تنگش واثرات تنش ۱۰٦

۵-٦-۱مغناطوتنگش تک کریستال ها ۱۰٦

۵-٦-۲ منشا فیزیکی مغناطو تنگش..... ۱۰۸

فصل ششم:کاربرد آلیاژ های حافظه دار

٦-۱ مقدمه..... ۱۱۰

٦-۲ کاربرد آلیاژ های حافظه دار درمهندسی پزشکی..... ۱۱۱

٦-۲-۱ موارد استفاده پزشکی از آلیاژ Ni-Ti..... ۱۱۲

٦-٣ کاربرد آلیاژهای حافظه دار در صنعت خودرو سازی..... ۱۱۷

٦-٣-١ اصول طراحی..... ۱۲۰

٦-٣-٢محرک های حرارتی..... ۱۲۱

٦-٣-٣ محرک های الکتریکی..... ۱۲۷

٦-٤ روش های تولید آلیاژ های حافظه دار..... ۱۳۱

٦-٤-١ فرایند ذوب و ریخته گری..... ۱۳۱

٦-٤-٢ متالورژی پودر..... ۱۳۳

٦-٤-٣ سنتز احتراقی..... ۱۳۳

فهرست جدول ها

عنوان صفحه

۱-۱ جدول تفاوت بین دگرگونی های نفوذی و بدون نفوذ..... ۱۰

۳-۱جدول گشتاور مغناطیسی و گشتاور مغناطیسی موثر اتم های Mn و Ni..... ٦۰

۳-۲ جدول مقادیر تئوری و تجربی ΔT از دمای دگرگونی T_m در میدان مغناطیسی برای $Mn_{1-x}Ga$ Ni_{2+x}..... ٦٦

٤-۱ جدول مقادیر ثابت شبکه و گشتاور مغناطیسی در آلیاژهای X_2YZ..... ۷۱

۵-۱ جدول انرژی ناهمسانگردی کریستال برای جهت های مختلف در یک کریستال مکعبی..... ۱۰۲

۵-۲ جدول جهت های آسان و متوسط وسخت مغناطش در یک کریستال مکعبی..... ۱۰۳

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

۱-۱ سیکل حرارتی مکانیکی توصیف کننده پدیده حافظه داری..... ٤

۱-۲دگرگونی نفوذی آستنیت در آهن -کربن..... ۸

۱-۳ تقسیم بندی شماتیک دگرگونی های بدون نفوذ..... ۱۱

۱-٤ تشکیل و رشد مارتنزیت روی آستنیت با کاهش دما..... ۱۳

۱- ۵ همبسته بودن مارتنزیت تشکیل شده بر روی آستنیت..... ۱۵

۱-٦ سطح مشترک همبسته و ناهمبسته..... ۱۷

۱-۷ نمایی از برش و کج شدن سطح ناشی از تشکیل مارتنزیت..... ۱۸

۱-۸ مدل بین برای دگرگونی از آستنیت به مارتنزیت..... ۲۰

۱-۹ ترکیب کرنش بین و چرخش جسم صلب در دگرگونی مارتنزیت..... ۲۱

۱-۱۰ جابجایی دوقلویی و لغزش در برش همگن مارتنزیت..... ۲۳

۱-۱۱ تبدیل فاز آستنیت به مارتنزیت..... ۲٤

۱-۱۲ مکانیزم لغزش صفحات و تشکیل دوقلویی..... ۲۵

۱-۱۳ حرکت واریانت ها با ایجاد تنش..... ۲٦

۱-۱٤ دیدگاه میکروسکوپیک و ماکروسکوپیک دو فاز در آلیاژ حافظه دار..... ۲٦

۱-۱۵ شماتیکی از دگرگونی فاز..... ۲۷

۱-۱٦ انواعی از میکرو ساختار مارتنزیت..... ۲۸

۱-۱۷ دگرگونی آلیاژ های حافظه دار بین فاز های دما بالا و پایین..... ۲۹

۱-۱۸ دو واریانت در شبکه مکعبی آستنیت و شبکه تتراگونال مارتنزیت..... ۲۹

۱-۱۹ اثر حافظه داری یک طرفه و دو طرفه..... ۳۱

۱-۲۰ حلقه هیسترسیز در طی گرمایش و سرمایش..... ۳۲

۱-۲۱ حرکت مرز دوقلویی در میدان مغناطیسی..... ۳۳

۱-۲۲ اثر حافظه داری شکل در NiTi..... ۳۵

۱-۲۳ حرکت مرز دوقلویی در میدان مغناطیسی..... ۳۷

۱-۲٤ گشتاورهای مغناطیسی بدون اعمال میدان و بعد از اعمال میدان..... ۳۷

۱-۲۵ مقایسه دو فرایند متفاوت از مغناطش با ناهمسانگردی مغناطیسی..... ۳۹

۱-۲٦ شماتیکی از مکانسیم کرنش..... ٤۱

۲-۱ ساختار مکعبی $L2_1$ از فاز آستنیت Ni2MnGa..... ٤٤

۲-۲ مدل ساختار مکعبی $L2_1$..... ٤٤

۲-۳ پراش اشعه Xبرای Ni2MnGa در فاز آستنیت..... ٤۵

۲-٤ انواع مختلف مارتنزیت موجود در Ni2MnGa..... ٤٦

۲-۵ ساختار مارتنزیت ۱۰M..... ٤۷

۲-٦ مدل ساختار تتراگونال NMدر فاز مارتنزیت..... ٤۸

۲-۷ شمایی از سلول $L1_0$..... ٤۹

۲-۸ پایداری انواع مارتنزیت..... ۵۰

۲-۹ وابستگی پذیرفتاری مغناطیسی به دما..... ۵۱

۲-۱۰ بررسی نمودار DSCوپذیرفتاری نسبت به دما..... ۵۳

۲-۱۱ منحنی مغناطش بر حسب میدان مغناطیسی خارجی در جهات مختلف..... ٥٤

۳-۱ وابستگی دمایی مغناطش خودبخودی آلیاژ های $Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga$ ۵۸

۳-۲ وابستگی دمای دگرگونی مارتنزیت و دمای کوری به ترکیبات..... ۵۹

۳-۳ وابستگی گشتاور مغناطیسی اشباع وگشتاور مغناطیسی موثر به ترکیبات..... ٦۰

۳-٤ پرش مغناطش در دگرگونی مارتنزیت بر حسب دما ٦۲

۳-۵ پرش مغناطش در دگرگونی مارتنزیت در میدان مغناطیسی بر حسب غلظتNi..... ٦۳

۳-٦ وابستگی گرمای نهان به ترکیبات در دگرگونی مارتنزیت..... ٦٤

۳-۷ مغناطش کاهش یافته بر حسب دمای کاهش یافته..... ٦۵

٤-۱ انرژی کل به صورت تابعی از اعوجاج تتراگونال برای آلیاژ های گوناگون..... ۷۲

٤-۲ نمودار انرژی کل در فاز مارتنزیت به صورت تابعی از c/a..... ۷٤

٤-۳ نمودار انرژی کل در فاز ماتنزیت با استفاده از روش تکرار..... ۷۵

٤-٤ نمودار انرژی کل به صورت تابعی از cو a..... ۷۷

٤-۵ گشتاور مغناطیسی کل Ni2MnGaبه صورت تابعی از cو a..... ۸۰

٤-٦ نمودار DOS در فاز مارتنزیت وآستنیت بر حسب انرژی..... ۸۱

٤-۷ نمودار DOSکل و PDOSاسپین بالا وپایین بر حسب انرژی..... ۸۳

٤-۸ نمودار DOSدر سطح فرمی برحسبc/a ۸٤

٤-۹ انرژی کل Ni2MnGaبه صورت تابعی از c/a..... ۸۵

٤-۱۰ توزیع مجدد مغناطش با دگرگونی از ساختار مکعبی به تتراکونال..... ۸٦

۵-۱ کرنش برشی..... ۸۹

۵-۲ تغییر شکل هندسی دو بعدی یک المان جزئی..... ۹۰

۵-۳ تانسور تنش..... ۹۲

۵-٤ اربیتال های d..... ۹٤

۵-۵ نمایش کمپلکس چهار وجهی..... ۹۵

۵-٦سه جهت اصلی کریستالوگرافی از یک ماده مکعبی..... ۹۸

۵-۷ منحنی های مغناطش آهن و نیکل..... ۹۹

۵-۸ ساختار حوزه در یک تک کریستال آهن..... ۱۰۰

۵-۹ ساختار حوزه در یک تک کریستال آهن..... ۱۰۱

۵-۱۰ منحنی مغناطش در تک کریستال کبالت..... ۱۰۳

۵-۱۱ ساختار حوزه یک تک کریستال محوری..... ۱۰٤

۵-۱۲ بر همکنش های اسپین - شبکه- مدار..... ۱۰۵

۵-۱۳ مغناطو تنگش تک کریستال آهن..... ۱۰۷

۵-۱٤ شماتیک مکانیسم مغناطو تنگش..... ۱۰۹

٦-۱ سیمون استفاده شده در تصفیه خون..... ۱۱۳

٦-۲ مسدود کننده سوراخ دیواره بطنی ۱۱۳

٦-۳ مراحل مسدود کردن سوراخ دیواره دهلیزی ۱۱۳

٦-٤ استنت ها با اندازه های مختلف..... ۱۱٤

٦-۵ فضا گیر بین مهره های ستون فقرات..... ۱۱۵

٦-٦ بست های ارتوپدی..... ١١٥
٦-٧ بست آلیاژ حافظه دار روی استخوان آرواره..... ١١٥
٦-٨ مورد استفاده آلیاژ حافظه دار در فیزیوتراپی..... ١١٦
٦-٩ سبد ساخته شده از آلیاژ حافظه دار در جمع آوری سنگ مثانه..... ١١٧
٦-١٠ پمپ بالونی برای جلوگیری از انسداد رگ..... ١١٧
٦-١١ انواع انبرک مورد استفاده در لاپاراسکوپی..... ١١٧
٦-١٢ نحوه عملکرد محرک ها و حسگر ها..... ١١٨
٦-١٣ کاربرد آلیاژ های حافظه دار در اجزای یک خودرو..... ١١٩
٦-١٤ منحنی تنش -کرنش در دماهای متفاوت..... ١٢٠
٦-١٥ محرک های حرارتی حافظه دار در خودرو..... ١٢٢
٦-١٦ گستره دمای انتقال آلیاژهای NiTi..... ١٢٣
٦-١٧ عملکرد سوپاپ های حرارتی..... ١٢٣
٦-١٨ نمایی از مقطع عرضی سوپاپ های حرارتی..... ١٢٤
٦-١٩ رگلاتورهای بوستر وابسته به دما..... ١٢٥
٦-٢٠ کاهش صدای جعبه دنده با آلیاژ حافظه دار ١٢٥
٦-٢١ تصاویری از آنتی شوک های حافظه دار..... ١٢٦
٦-٢٢ محرک های الکتریکی حافظه دار در خودرو..... ١٢٧
٦-٢٣ محدوده دمای کاری خودرو و دمای انتقال آلیاژ حافظه دار..... ١٢٨
٦-٢٤ لامپ مه شکن با محرک الکتریکی حافظه دار..... ١٢٨

٦-٢٥ طراحی محرک حافظه دار داخلی..... ١٢٩

٦-٢٦ برف پاک کن با محرک حافظه دار..... ١٣٠

٦-٢٧ مکانیزم قفل در با فنر های حافظه دار..... ١٣٠

فصل اول

بررسی ساختار کریستالی آلیاژ های حافظه دار

مقدمه

موادی که باعث سازگاری سازه خود با محیط اطراف خود می شوند مواد محرک نامیده می شوند، این مواد می توانند شکل، سفتی، مکان، فرکانس طبیعی و سایر مشخصات مکانیکی را در پاسخ به دما یا میدان های الکترومغناطیسی تغییر دهند.

امروزه پنج نوع ماده محرک، به طور عمده استفاده می شود که شامل:

۱) آلیاژهای حافظه دار
۲) سرامیک های پیزوالکتریک
۳) مواد مغناطیسی سخت
٤) مایعات الکترو رئولوژیکال
۵) مگنتو رئولوژیکال

می باشند. این مواد از زمره مواد هوشمند محرک می باشند.

مواد هوشمند دسته ای از مواد هستند که می توانند به تغییرات محیط به بهترین شکل ممکن پاسخ داده و رفتار خود را نسبت به تغییرات تنظیم نمائید. (سبک وزن هستند).در اینجا به معرفی آلیاژهای حافظه دار می پردازیم.

آلیاژهای حافظه دار(**فلز هوشمند، فلز حافظه دار، آلیاژ حافظه دار، آلیاژ هوشمند**) عنوان گروهی از مواد محرک می باشند که خواص متمایز و برتری نسبت به سایر آلیاژها دارند. آن ها گروهی از مواد هستند که اگر با ترکیب شیمیایی مشخص،تحت عملیات حرارتی مناسب قرار گیرند، توانایی بازگشت به شکل یا اندازه از قبل تعیین شده را از خود نشان می دهند.

همچنین این مواد قابلیت تبدیل انرژی گرمایی (الکتریکی) را به انرژی مکانیکی دارند و در صورتی که گرم کردن و سرد کردن این آلیاژها با جریان الکتریکی کنترل شود، می توان حرکت های چرخه ای با قابلیت تکرار در دفعات متوالی ایجاد کرد. عکس العمل شدید آلیاژهای حافظه دار نسبت به برخی از پارامترهای ترمودینامیکی و مکانیکی و قابلیت بازگشت به شکل اولیه در اثر اعمال پارامترهای مذکور به گونه ای است که می تواند رفتار سیستم را بهبود بخشد.

وقتی یک آلیاژ معمولی تحت نیروی خارجی بیش از حد الاستیک قرار گیرد، تغییر شکل می دهد. این نوع تغییر شکل بعد از حذف نیرو باقی می ماند. اما آلیاژهای حافظه دار از جمله آلیاژهای Au-Cd, Ni-Al, Cu-Al-Ni , Cu-Zn-Al , Cu-Zn-Ga, Cu-Zn-Si , Ni-Ti , Cu-Au-Zn , Cu-zn-sn و...رفتار متفاوتی از خود ارائه می نمایند.

در دمای پایین یک نمونه حافظه دار می تواند تغییر شکل پلاستیک چند درصدی را تحمل کند و سپس به طور کامل به شکل اولیه خود در دمای بالا برگردد. در فرایند برگشت به شکل اولیه، آلیاژ می تواند نیروی زیادی تولید کند که این نیرو برای تحریک مفید می باشد.

در سال ۱۹۳۲ مشاهدات ثبت شده درباره پدیده حافظه داری شکلی توسط Readو Change انجام شد. آن ها از طریق مطالعات فلزشناسی و تغییرات مقاومت آلیاژ ،وارون پذیری حافظه شکلی را در

Au-Cd بررسی کردند.

در سال ۱۹۵٦ مشاهدات و نتایج تحقیقات مربوط به تز دکترای Horbojen در موضوع اثر حافظه داری در آلیاژ Cu-Zn منتشر شد. سپس در سال ۱۹٦۱ اثر حافظه داری شکل در آلیاژ نیکل –

تیتانیوم با درصد اتمی مساوی (٪۵۰–٪۵۰) در آزمایشگاه ناوال اوردنانس[۱] توسط بوهلر کشف و تحت نام نیتینول[۲] مشهور شد. دو حرف اول نیتینول در ارتباط با نیکل، دو حرف بعدی مربوط به عنصر تیتانیوم و سه حرف آخر در رابطه با آزمایشگاه ناوال اُوردنانس می باشد.

در سال ۱۹۸۰ میلادی، Hawtو Michel با انتشار مقاله ای از نتایج تحقیقات خودشان بر روی برنج، آن را به عنوان ماده جدید حافظه دار معرفی کردند.

از اوایل ۱۹۸۰ استفاده از آلیاژهای حافظه دار در بین محققان و مهندسان مورد توجه قرار گرفت و این آلیاژ هوشمند در زمینه های وسیعی از جمله تعدیل آئرو الاستیسیته آنتن ماهواره ها و کنترل ارتعاش سازه های فضایی، کنترل ارتعاش سطوح کنترلی هواپیماها و حتی در شبیه سازی های پزشکی مورد استفاده قرار گرفته و کشف مزایای اصلی و علمی آن هر روز، افزایش یافته است.

---

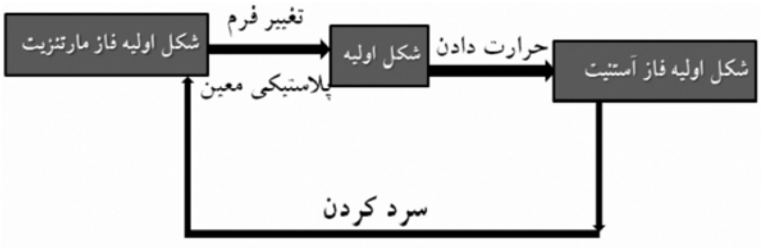
[۱] ordanance lab Naval

[۲] Nitionol

۱-۱معرفی ساختار آلیاژهای حافظه دار

مکانیزمی که خواص آلیاژهای حافظه دار را کنترل می کند ریشه در تغییر کریستالی آلیاژ دارد. در پدیده حافظه داری، نمونه در حالت کاملاً مارتنزیتی به مقدار معینی تغییر فرم داده می شود، سپس با گرم کردن نمونه و برگشت آن به حالت آستنیتی، شکل نمونه نیز به حالت اول خود بر می گردد.

شکل (۱-۱) چگونگی پدیده حافظه داری شکلی را با تبدیل دو فاز آستنیت و مارتنزیت به یکدیگر نشان می دهد.



شکل (۱ - ۱) چرخه حرارتی مکانیکی توصیف کننده پدیده حافظه داری شکلی

بررسی بر روی تغییر حالت متالورژیکی نمونه جامد،نشان دهنده تغییر آرایش اتم ها بدون هیچگونه تغییری در ترکیب شیمیایی فاز زمینه می باشد. این تغییر آرایش منجر به ایجادیک ساختار کریستالی در فازی جدید و پایدار می شود. پیشرفت تغییر حالت، بدون نیاز به حرکت و جابجایی مجزای اتم ها ، را می توان مستقل از زمان دانست و به همین دلیل می توان وابستگی دما را به عنوان تنها عامل پیشرفت این تغییر نشان داد.

تغییر حالت متالورژیکی جامدات از دو روش زیر امکان پذیر است:

۱) حرکت و جابجایی اتم ها ،وابسته به درجه حرارت و زمان،همراه با تغییر در ترکیب شیمیایی فاز جدید نسبت به زمینه قبلی.

۲) تغییر آرایش اتمی به صورت هماهنگ، وابسته به دما و بدون وابستگی به زمان وبا هیچگونه تغییری

در ترکیب شیمیایی فاز جدید نسبت به زمینه قبلی.

تغییر حالت های مار تنزیتی از نوع روش دوم است.

مارتنزیت نامی است که از آن در متالورژی فیزیکی برای توصیف هرگونه فراورده حاصل از دگرگونی بدون نفوذ، یعنی هر تغییر حالتی که در آن از آغاز تا پایان، جابجایی اتم ها کمتر از فاصله بین اتمی باشد،به کار می رود. تغییر مکان منظم و گروهی اتم ها در این دگرگونی سبب نامگذاری آن به گروهی[۱] شده است. بکارگیری این نام در مقابل عبارت انفرادی[۲] و غیرگروهی است که در مورد دگرگونی های نفوذی به کار می رود.

به طور کلی تمام فلزات و آلیاژها به شرط آنکه با سرعت کافی سرد یا گرم شوند تا فرصتی برای انجام دگرگونی از راه ساز و کارهای همراه با نفوذ نداشته باشند، می توانند دگرگونی غیرنفوذی انجام دهند. بنابراین دگرگونی های مارتنزیتی می توانند در بسیاری از انواع بلورهای فلزی و نافلزی مواد معدنی و ترکیبات رخ دهند.

.

[۱] Military
[۲] Civilan