تاثير تغيير شکل در دماهاي پير کرنشي ديناميکي بر خواص مکانيکي فولادهاي دوفازي در دماي اتاق

علي اکبر اکرامي[1] و محمد جعفر مولايي[2]
دانشکده مهندسي و علم مواد- دانشگاه صنعتي شريف
نمابر: ۰۲۱-۶۰۰۵۷۱۷ ، ekrami@sharif.edu

چکيده

در اين تحقيق يک فولاد کم کربن تحت چرخه هاي مختلف عمليات حرارتي قرار گرفت و فولادهاي دوفازي(DP) با درصد حجمي مختلف مارتنزيت شبکه اي به دست آمد. نمونه هاي عمليات حرارتي شده تحت پيش کرنش به ميزان ۳% در دماي پير کرنشي ديناميکي(۳۰۰ °C) قرار گرفتند. اثر پير کرنشي ديناميکي بر خواص کششي دماي اتاق اين فولادها بررسي و بحث شد. آزمايشات خستگي به منظور به دست آوردن تاثير پير کرنشي ديناميکي بر منحني تنش - طول عمر خستگي فولادهاي DP، قبل و بعد از پيش کرنش در دماي بالا انجام و سطوح شکست خستگي توسط ميکروسکوپ الکتروني روبشي (SEM) مطالعه شد. مشخص شد که پير- کرنشي ديناميکي (DSA) در فولادهاي DP باعث افزايش استحکام تسليم و کششي و کاهش درصد ازدياد طول تا شکست مي شود. حد خستگي فولادهاي دو فازي که در دماي بالا تحت پيش کرنش قرار گرفته اند نسبت به فولادهايي که پيش کرنش داده نشده اند، افزايش مي يابد. مطالعات سطح شکست خستگي نشان داد که رشد ترک خستگي در فولادهاي دوفازي با مورفولوژي مارتنزيت شبکه اي از هر دو فاز (فريت و مارتنزيت) عبور مي کند و مسير ترجيحي براي رشد از فاز خاصي وجود ندارد.

کلمات کليدي: فولاد دوفازي، مورفولوژي، مارتنزيت، پير کرنشي ديناميکي، خستگي

---

[1] استاد
[2] کارشناسی ارشد

۱- مقدمه:

پير كرنشي ديناميكي به واسطه واكنش بين نابجايي هاي متحرك و اتمهاي حل شونده صورت مي گيرد كه در فولادهاي كم كربن اين اتمها كربن و نيتروژن مي باشند. اين پديده در فولادها هنگامي مشاهده مي شود كه اتمهاي بين نشين با سرعت كافي نفوذ كنند، به نحوي كه با شكل گيري اتمسفر كاترل در اطراف نابجائيهاي لغزنده امكان پيركرنشي به هنگام تغيير شكل مومساني بوجود آيد [۳-۱].

فولادهاي دوفازي كه دو خاصيت ناسازگار استحكام و انعطاف پذيري را تواماً به همراه دارند، با ريزساختاري شامل ۱۵ تا ۲۵ درصد ذرات سخت مارتنزيت در يك زمينه نرم فريت مشخص مي گردند [۴]. با توجه به كاربرد وسيع و رو به رشد اين فولادها در صنايع مختلف، تحقيقاتي در زمينه خستگي اين فولادها صورت گرفته است [۱۱-۵]، ولي هنوز اثر تغيير شكل در دماهاي پير كرنشي ديناميكي بر خواص خستگي اين فولادها بررسي نشده است. با توجه به كارهاي انجام شده در زمينه تغيير شكل اين فولادها در دماهاي پيركرنشي ديناميكي [۱۲]، اثر اين پديده بر خواص خستگي فولادهاي مذكور مورد بررسي قرار گرفته است.

۲- مواد و روش تحقيق:

در اين تحقيق از ورق فولاد كم كربن با تركيب شيميايي C۰/۱۰ %، Mn۱/۴۰%، Si ۰/۳۳ % و ۰/۰۳%> P وS استفاده شد. نمونه هايي از اين ورق در دماي ۱۱۰۰ °C به مدت يک ساعت همگن و سپس به مدت يک ساعت در دماي ۹۸۰ °C قرار گرفته و در هوا سرد شدند. به منظور ايجاد ساختارهاي مختلف فولاد دوفازي با مورفولوژي مارتنزيت شبكه اي و كسرهاي حجمي متفاوت مارتنزيت، نمونه‌هاي نرماله شده به دو گروه A و B تقسيم شدند. نمونه هاي گروه A در دماي ۷۷۸ °C و گروه B در ۸۰۵ °C به مدت ۳۰ دقيقه در منطقه دوفازي عمليات حرارتي شده و سپس در آب سرد سريع سرد شدند. براي تعيين درصد حجمي مارتنزيت، از روش آناليز تصويري[۳] استفاده شد. به منظور پيش كرنش نمونه هاي حاصل از عمليات حرارتي به ميزان ۳% در دمايC° ۳۰۰، از دستگاه كشش گرم "اينسترون" مدل ۶۰۲۷ و با نرخ كرنش ۶/۶ *$۱۰^{-۳}$ 1/Sec استفاده شد. آزمون خستگي با دستگاه نيومن[٤] (چرخشي- خمشي) در دماي اتاق و با بسامد ۲۸۵۰ دور بر دقيقه و با تهيه نمونه هايي مطابق استاندارد ASTM E-466 انجام و تنش اعمالي در $۱۰^{۷}$ چرخه به عنوان حد خستگي در نظر گرفته شد. سطوح شكست نمونه‌هاي خستگي توسط يك ميكروسكوپ الكتروني روبشي (SEM) از نوع فيليپس[5] مدل XL30 بررسي شد.

۳- نتايج و بحث:

---

[3] – Image Analyzer

[4] – Newman

[5] – Philips

آناليز تصويري نمونه ها نشان داد كه درصد حجمي مارتنزيت نمونه هاي گـروه A وB بـه ترتيـب ۲۰% و ۲۸% مي باشد. شكل (۱) ريزساختار فولادهاي دوفازي ايجاد شده را نشان مي دهد.

۳-۱- خواص كششي

شكل (۲) تغييرات خواص كششي ساختارهاي دوفازي ايجاد شده را با كسر حجمي مارتنزيـت نشـان مـي دهد. ديده مي شود كه با افزايش درصد حجمـي مارتنزيـت اسـتحكام تسـليم و اسـتحكام نهـايي كششـي افزايش و درصد ازدياد طول كاهش مي يابد. تغييرات خواص كششي با افزايش ميـزان مارتنزيـت را مـي توان به افزايش فاز سخت در مخلوط فازها مرتبط كرد. همچنين دگرگوني مارتنزيتي همراه با يک انبساط ناشي از تغيير شكل بلوري است كه منجر به ايجاد تغيير شكل مومسان در داخل توده مـاده مـي شـود. ايـن تغيير شكل باعث توليد نابجايي هاي زيادي در فاز فريت مي شود كه افزايش درصـد حجمـي مارتنزيـت، منجر به كارسختي [۱۳] بيشتر و بالا رفتن استحكام اين فاز مي شود.

تغييرات خواص كششي ساختارهاي دوفازي ايجاد شـده پـس از ۳% پـيش كـرنش در دمـاي ۳۰۰ °C در شكل (۳) و ميزان اين تغييرات در شكل (۴) آمده است. ديده مي شود كه تغيير شكل دردماي بـالا باعـث افزايش استحكام تسليم و كششي و كاهش كرنش كل مي شود. افزايش در استحكام را مي توان به وقـوع پير كرنشي ديناميكي به هنگام تغيير شكل در دماي بالا و وقوع پير كرنشي استاتيكي به هنگـام سـرد شـدن نمونه ها از دماي ۳۰۰ °C مرتبط كرد.

افزايش بيشتر استحكام در فولادهاي دوفازي با درصد حجمي بالاتر مارتنزيـت شـبكه اي بـه علـت موانـع بيشتر در اين دسته از فولادها اسـت كه باعـث كـارسـختي بيـشتري مي شود. از طرفي به علت بالاتر بـودن كسر حجمي مارتنزيت، نابجايي هاي ايجاد شده به هنگام دگرگوني نيز بيشتر بـوده و قفلهـاي بيشـتري در حين پيش كرنش در دماي بالا تشكيل شده و كارسختي بالاتر، در حجم كمتر فريت صـورت گيـرد. ايـن عوامل در كنار اثرات پديده پير كرنشي استاتيكي، باعث افزايش بيشتراستحكام در ميزان بيشـتر مارتنزيـت در اين فولادها مي‌شوند.

۳-۲- خواص خستگي:

شكل (۵) منحني هاي تنش- طول عمر خستگي فولادهاي دو فازي گروه هاي (A) و (B) را قبل و بعد از اعمال ۳% پيش كرنش در دماي ۳۰۰°C نشان مي دهد. حد خسـتگي بعـد از پـيش كـرنش در دمـاي پيـر كرنشي ديناميكي براي فولادهاي دو فازي با ۲۰% مارتنزيت شبكه اي، از ۲۹۸ MPa به ۳۲٦ MPa و بـراي فولادهاي دو فازي با ۲۸% مارتنزيت شبكه اي از ۳۱۹ MPa به ۳۵۸ MPa افزايش يافت.

با اعمال پيش كرنش، به دليل مكانيزم هاي كار سختي و نيز پديـده پيـر كرنشـي دينـاميكي و اسـتاتيكي، استحكام فريت افزايش مي‌يابد. افزايش استحكام فريت باعث كوچک شدن اندازه منطقه پلاستيک نوک ترک و کم شدن سرعت رشد ترك مي شود [۱۴].

۴-شكست نگاري:بطور كلي شروع تركهاي خستگي در اين فولادها عمدتا" از فصل مشترک فريت-مارتنزيت و يا از داخل دانه هاي فريت صورت مي گيرد [۶]. پس از جوانه زني ترک و احتمالا" اشاعه در فاز فريت، ترک در مسير خود به فاز سخت مارتنزيت برخورد كرده و متوقف مي شود. با زيادتر شدن تمركز تنش در رأس ترک، ترک مي تواند مسير خود را براي مسافتی كوتاه در فصل مشترک ادامه دهد و يا فاز مارتنزيت به اين افزايش تنش پاسخ داده و دچار تغيير شكل پلاستيک شود و ترک مسير اشاعه خود را در فاز مارتنزيت ادامه دهد. با توجه به عدم جهت گيري ترجيحي مسير رشد ترک، سطوح شكست خستگي فولادهاي دوفازي با مورفولوژي مارتنزيت شبكه اي نسبتا" هموار است (شكل ۶). مطالعات ديگر محققين عدم وجود مسير ترجيحي براي رشد ترک، و عبور ترک به تناوب از هر دو فاز ، در فولاد دوفازي با مارتنزيت شبكه اي را تأييد مي كند [۱۵].

۵- نتيجه گيري:

۱. با افزايش در صد حجمي مارتنزيت در فولادهاي دو فازي با مارتنزيت شبكه اي، استحكام تسليم و كششي افزايش و در صد ازدياد طول كاهش مي يابد. استحكام تسليم و كششي اين فولادها با پيش كرنش در دماهاي پير كرنشي ديناميكي افزايش و درصد ازدياد طول كاهش مي يابد.

۲. با افزايش درصد حجمي مارتنزيت و نيز با اعمال پيش كرنش در دماهاي پير كرنشي ديناميكي، حد خستگي فولادهاي دوفازي با مارتنزيت شبكه اي افزايش مي يابد. با زياد شدن درصد حجمي مارتنزيت، افزايش حد خستگي بعد از پيش كرنش در دماهاي پير كرنشي ديناميكي، به ميزان بيشتري صورت مي‌گيرد.

۳. در فولادهاي دوفازي با مورفولوژي مارتنزيت شبكه اي، ترک در مسير رشد خود جهت گيري ترجيحي چندانی ندارد و به تناوب از هر دو فاز عبور مي كند.

مراجع:

1- Y. Bergstrom and W. Roberts," A dislocation model for dynamical strain ageing of α-iron in the Jerky-flow region", Acta Metal., Vol. 19, 1971, 1243-1251.

2- C. Gupta, J. K. Chakravartty, S. L. Wadekar and J. S. Dubey," Effect of serrated flow on deformation behavior of AISI 403 stainless steel", Mat. Sci. Eng., Vol. A292, 2000, 49-55

3- Ekrami, A.," High temperature mechanical properties of Dual phase steels", Material Letters, 2005, In press.

4- Metals Handbook, High Strength Structural and HSLA Steels, Ed.10, Vol.1, 1990, 389-423.

5- J. L. Tzou and R. O. Ritchie," Fatigue crack propagation in a Dual phase carbon steel", Scrip. Met., Vol. 19, 1985, 751-755.

6- D. L. Chen, Z.G. Wang, X. Jiong and C. H. Shih," A theoretical analysis of the relationship between fatigue threshold and martensite content in dual phase steels" Int. Conf. "Fatigue 90", Vol. 3, Honolulu, Hawaii, U.S.A, 1990, 1393-1400.

7- T. M. Hashimoto and M. S. Periera," Fatigue life studies in carbon Dual phase steels", Int. J. Fatigue, Vol. 18, No. 8, 1996, 529-533.

8- Zhongguang, W., Guonan, W., Wei, K., Haicai, H.,"Influence of martensite content on the fatigue behavior of a dual phase steel", Mat. Sci. Eng., 91, 1987, 39-44.

9- Horng, J. L., Fine, M. E."Near threshold fatigue crack propagation rate of dual phase steels", Mater. Sci. Eng., 67, 1984, 185-195

10-Wasynczuk, J. A. Ritchie, R. O., Thomas, G."Effect of microstructure on fatigue crack growth in a duplex ferrite-martensite steel, Mater. Sci. Eng. 62, 1984, 79-92.

11-S. R. Mediratta, V. Ramasvamy, V. Singh and P. Rama Rao,"Low cycle fatigue of dual phase steels produced by different cooling rates and ferrite-pearlite steel" Scrip. Metal. Vol. 24, 1990, 793-797.

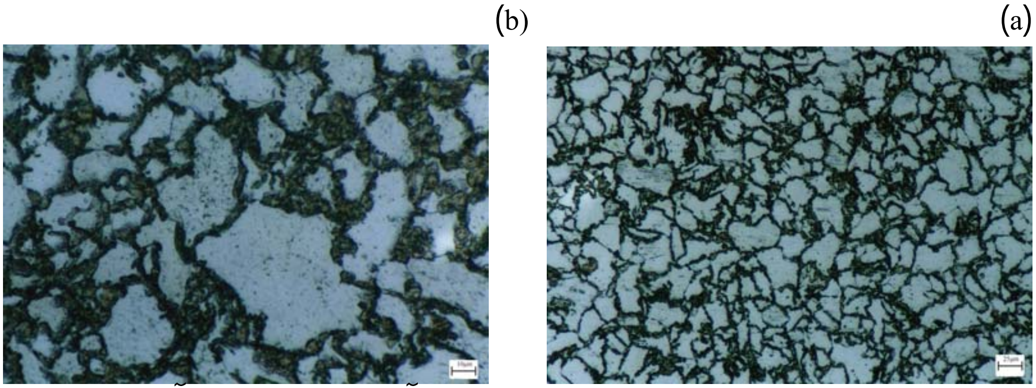
۱۲- وحداني، هادي، "اثر تغيير شكل در دماهاي پير كرنشي ديناميكي در فولادهاي كم كربن فريتي-مارتنزيتي"، پايان نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه صنعتي شريف، ۱۳۸۲

13-A. M. Sherman, R. G. Davis and W. T. Donlon, "Electron microscopic study of a deformed dual phase steels, Fundamentals of dual phase steels", Kot, R. A. (Eds.), Proc. of a symposium sponsored by 110th AIME annual meeting, Metallurgical Society of AIME, Chicago, 1981, 85-94.

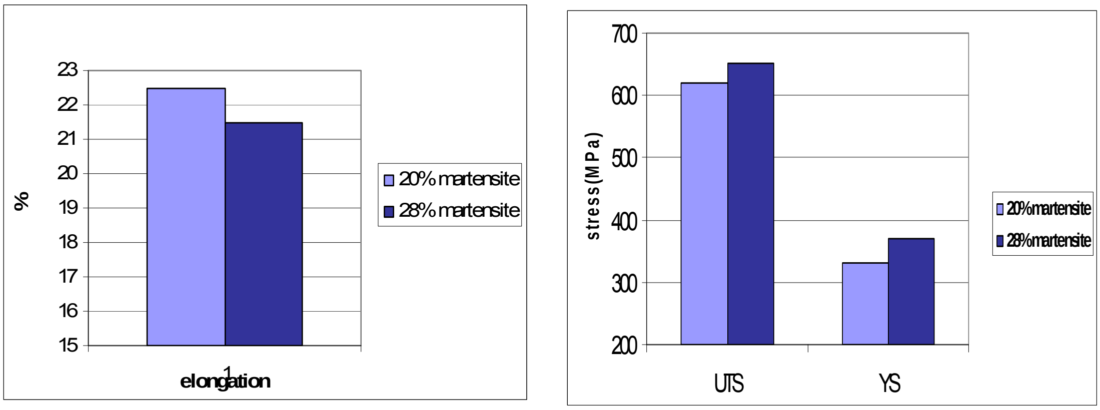
14-J. wasen, K. Hamberg and B. Karlsson,"The influence of prestrain and ageing on fatigue crack growth in a dual phase steel", Scrip. Met., Vol. 18, 1984, 621-624.

15-H. Suzuki and A. J. McEvily," Microstructural effects on fatigue crack growth in a low carbon steel", Metal. Trans. A, Vol. 10A, 1979, 474-481.

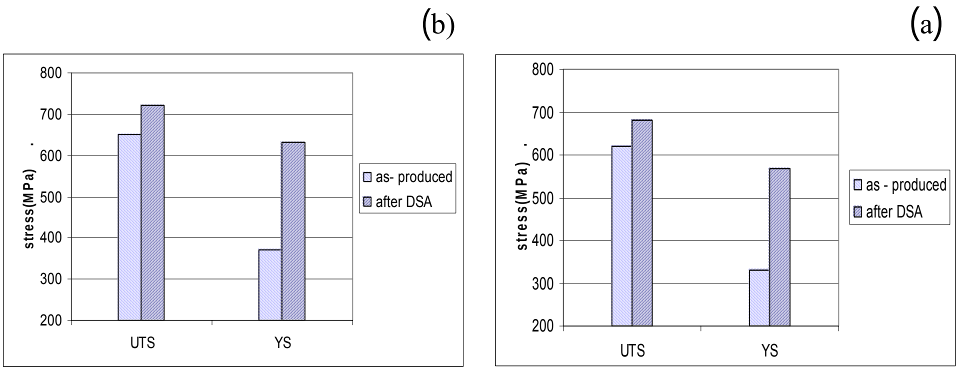
شكل ها:


(a) (b)

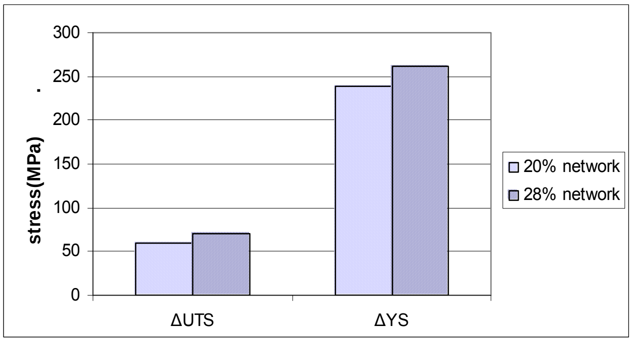
شكل ۱: ساختار ميكروسكوپي نمونه هاي فولادهاي دوفازي بدست آمده از عمليات حرارتي آنيل بين بحراني در a) ۷۷۸ °C و b) ۸۰۵ °C .



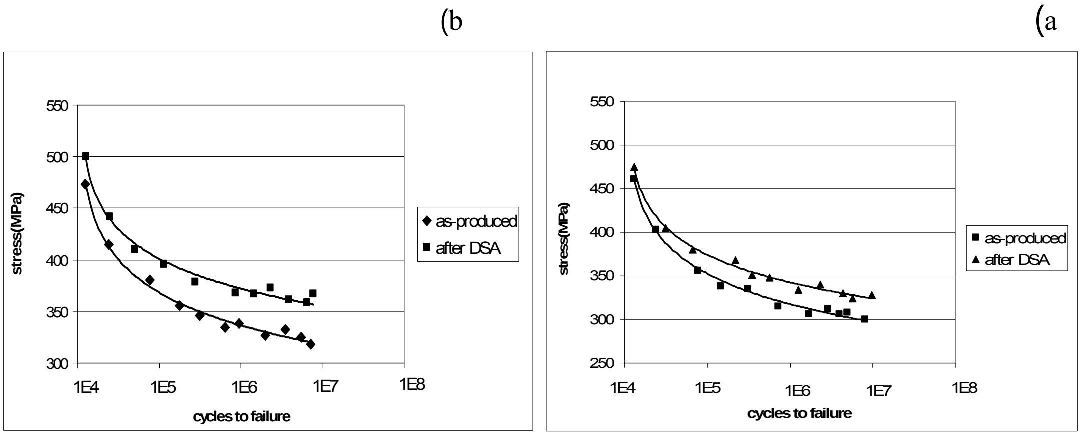
شكل ۲: اثر در صد حجمي مارتنزيت بر خواص كششي فولادهاي دو فازي با مارتنزيت شبكه‌اي.


(a) (b)

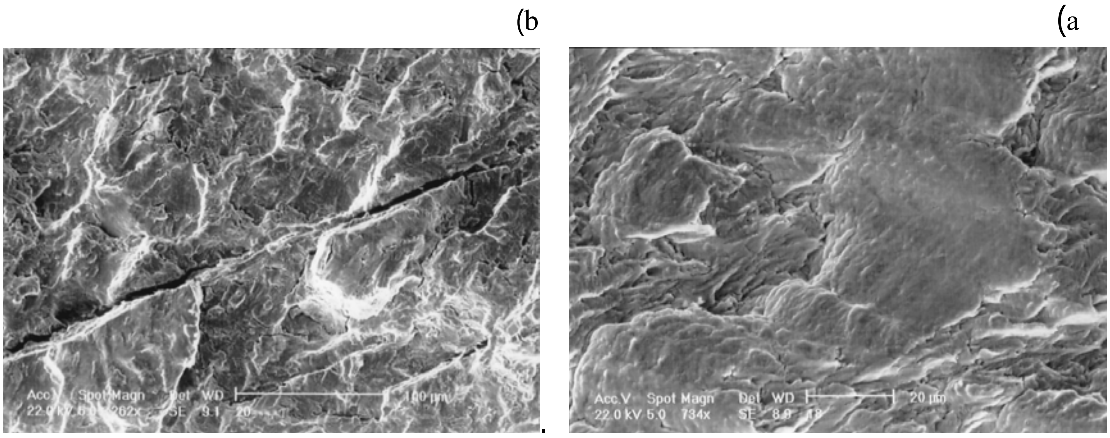
شكل ۳: اثر پيش كرنش در دماي بالا بر خواص كششي؛ a) ۲۰% مارتنزيت ، b) ۲۸% مارتنزيت



شکل ٤: میزان تغییرات خواص کششي فولادهاي دوفازي با مارتنزيت شبکه اي بعد از پيش کرنش در دماي بالا.



شکل ٥: نمودار استحکام خستگي- طول عمر قبل و بعد از اعمال ٣% پيش کرنش در دماي ٣٠٠°C؛ a)فولادهاي گروه (A) b) فولادهاي گروه (B).



شکل ٦: سطح شکست خستگي در نمونه فولاد دوفازي با مارتنزيت شبکه اي؛ a) شکست به صورت تورقي صورت گرفته است؛ b) رشد مستقيم يک ترک.

The effect of pre-strain at dynamic strain aging temperatures on subsequent fatigue properties of dual-phase steels

Dr. A. Ekrami[6], **M. J. Molaee**[7]
Ekrami@sharif.edu, Fax: 021-66005717
Material science and Eng. Dept., Sharif university of technology

Abstract

A C-Mn steel was subjected to intercritical annealing to produce ferritic-martensitic dual-phase (DP) steels with different volume fraction of network martensite, using different heat treatment cycles. To investigate the effect of dynamic strain aging (DSA) on mechanical properties, tensile specimens were deformed 3% at 573 K. Room temperature tensile tests of deformed specimens, at DSA temperature range, showed that both yield and ultimate tensile strengths increased, while total elongation decreased. The yield and tensile strengths increments were related to the pinning of dislocations, during high temperature deformation, due to the dynamic strain aging. The results of fatigue tests also showed that, fatigue strengths at 10^7 cycles were increased after pre-strain in the DSA temperature range. The effects of volume fraction of martensite on mechanical properties also discussed. Fracture surfaces studies were done, using SEM.

Key words: Dual-phase steels; dynamic strain aging; fatigue

---

[6] Professor
[7] Student of M. Sc.