

<http://doi.org/10.58225/sw.2025.1-90-93>

Fe-Si-C TƏRKİBLİ AMORF LENT NÜMUNƏLƏRİNİN MEXANİKİ XASSƏLƏRİNİN KRİSTALLİK ANALOQLARI OLAN ELEKTROTEKNİKİ POLADLARLA (Fe-Si) MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

İsayeva Aida Əjdər qızı- f.ü.f.d. Fizika və kimya kafedrası, AzMİU, isayeva_aida86@mail.ru
Şamilov Təbriz Qaraca oğlu- f.ü.f.d. dosent, Fizika və kimya kafedrası, AzMİU, invar59@mail.ru
Əhmədov Valik İbrahim oğlu - f.ü.f.d. dosent, Fizika və kimya kafedrası, AzMİU, valik.ahmadov@gmail.com

Xülasə. Bu məqalədə Fe-Si-C tərkibli amorf lentlərin mexaniki xassələrinin onların ənənəvi kristallik Fe-Si (elektrotexniki polad) analoqları ilə müqayisəsi aparılır. Fe-Si-C lentlərinin yüksək möhkəmlik, elastiklik və korroziyaya davamlılıq kimi xüsusiyyətlər göstərdiyi aşkar edilmişdir. Eyni zamanda, amorf strukturun materialın mexaniki dayanıqlığına müsbət təsir göstərdiyi və kristallaşma prosesinin başlanğıcı ilə əlaqəli risklərin azaldılması təhlil edilir. Bu tədqiqat, Fe-Si-C lentlərin kristallik analoqları üzərində üstünlüklərini vurğulayaraq, bu materialların elektrotexniki tətbiq sahələrində istifadəsi perspektivlərini genişləndirir.

Açar sözlər: amorf lent, kristal materiallar, elektrotexniki polad, mexaniki xassələri

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF FE-SI-C AMORPHOUS RIBBON SAMPLES WITH THEIR CRYSTALLINE COUNTERPARTS, ELECTRICAL STEELS (FE-SI)

Isayeva Aida Ajdar - PhD, department of Physics and chemistry, AzUAC, isayeva_aida86@mail.ru
Shamilov Tabriz Garaja - PhD, department of Physics and chemistry, AzUAC, invar59@mail.ru
Ahmadov Valik Ibrahim - PhD, ass. prof., Department of Physics and chemistry, AzUAC; valik.ahmadov@gmail.com

Abstract. This article compares the mechanical properties of Fe-Si-C amorphous ribbons with their traditional crystalline counterparts, Fe-Si (electrical steel). It has been found that Fe-Si-C ribbons exhibit characteristics such as high strength, elasticity, and corrosion resistance. Additionally, the amorphous structure positively affects the material's mechanical stability and reduces risks associated with the onset of crystallization. This study highlights the advantages of Fe-Si-C ribbons over their crystalline counterparts, expanding the prospects for the use of these materials in electrical engineering applications.

Keywords: amorphous ribbon, crystalline materials, electrotechnical steel, mechanical properties

Giriş. Bir sıra üstünlüklərə baxmayaraq, amorf lentlərin kövrəkliyi hələ problem olaraq qalır. Tədqiqatçılar [1-10] müşahidə etmişlər ki, dislokasiyalar və dənə sərhədləri kimi kristallik qüsurların olmaması möhkəmlik həddini artırsa da, elastikliyin azalmasına səbəb olur. Bu kövrəklik, elastiklik və zərbəyə davamlılığın tələb olunduğu tətbiqlərdə diqqətli davranmağı və nəzərə alınmanı tələb edir [11-17]. Fe-Si-C amorf lentlər 100-150 GPa diapazonunda elastiklik moduluna malikdirlər ki, bu da kristallik silisiumlu polada xas olan 200-210 GPa-dan aşağıdır. Belə aşağı elastiklik modulu mexaniki zərbələri deformasiya olmadan qəbul edə bilən materiallar tələb edən tətbiqlərdə faydalıdır.

Amorf lentlərin aşınma müqaviməti başqa bir maraq sahəsidir. Onların yüksək sərtliyi və dənə sərhədlərinin olmaması əla aşınma xüsusiyyətlərinin formalaşmasına kömək edir və onların aşındırıcı mühitlərdə istifadəsini mümkün edir. Bununla belə, onların çat əmələ gəlmə möhkəmliyi bir çox tətbiqlər üçün uyğun olsa da, kristallik materiallardan daha aşağıdır və müəyyən istifadələr üçün məhdudiyyətlər yaradır [18-21].

Ümumilikdə, Fe-Si-C əsaslı amorf lentlərdə mexaniki xassələrin unikal məcmusu həm imkanlar, həm də çətinliklər yaradır. Yüksək möhkəmlik və sərtlilik onları çoxsaylı tətbiqlər üçün cəlbədicidir, lakin kövrəklik və aşağı çat əmələ gəlmə möhkəmliyi dizayn və material seçiminə diqqətlə nəzərə alınma tələb edir.

Tədqiqatlar Fe-Si-C amorf lentlərinin müxtəlif sənaye və texnoloji tətbiqlərdə istifadəsini genişləndirmək üçün bu xüsusiyyətlərin optimallaşdırılmasına diqqət yetirməyi tələb edir.

Fe-Si-C tərkibli amorf lentlərin mexaniki xassələrinin kristallik analoqları Fe-Si materiallarının mexaniki xassələri ilə müqayisəsi. Fe-Si-C tərkibli amorf lentlərin mexaniki xassələrinin amorf quruluşun üstünlüklərini və məhdudiyyətlərini aydınlaşdırmaq üçün onların kristallik analoqları Fe-Si materiallarının mexaniki xassələri ilə müqayisə edilmişdir. Nəticələr aşağıdakı cədvəl şəklində verilmişdir:

Cədvəl 1.

Xarakteristika	Fe ₉₂ Si ₆ C ₂ lent nümunəsi (ortalama)	Fe ₉₃ Si ₆ C ₁ lent nümunəsi (ortalama)	Kristallik Fe-Si [4-9]
UTS (MPa)	1200	1330	600
Sərtliyi (HV)	710	690	200
Qırılma zamanı uzanma (%)	1,6	1,7	15
Elastik Modulu (GPa)	90	130	210
Elastiklik həddi (MPa)	894	968	250 -500 (tərkibinə və emal şərtlərinə görə dəyişir)

Fe₉₂Si₆C₂ və Fe₉₃Si₆C₁ tərkibli amorf lentlərinin sərtlilik, elastiklik, möhkəmlik həddi və qırılma möhkəmliyi kimi bir neçə əsas amili nəzərə almaqla, öyrənilmiş mexaniki xassələrini onların kristallik Fe-Si analoqları ilə müqayisə edərək aşağıdakı nəticələrə gələ bilərik:

- Fe₉₂Si₆C₂ və Fe₉₃Si₆C₁ tərkibli amorf lentlər kristallik olmayan, nizamsız atom quruluşuna görə daha yüksək sərtlilik nümayiş etdirirlər, bu da kristal materiallarda mövcud olan dənə sərhədlərinin amorf materiallarda olmamasıdır. Dislokasiyaların və dənə sərhədlərinin olmaması plastik deformasiyanın baş verməsini çətinləşdirir. Kristallik Fe-Si materialları ümumiyyətlə amorf analoqları ilə müqayisədə daha aşağı sərtliyə malikdirlər. Kristal quruluşda dənə sərhədlərinin və dislokasiyaların olması daha asan plastik deformasiyaya imkan verir. Bu da, daha aşağı sərtliyə səbəb olur.

- Fe₉₂Si₆C₂ və Fe₉₃Si₆C₁ tərkibli amorf lentlər ümumiyyətlə daha az elastiklik nümayiş etdirir. Nizamsız quruluş materialın qırılmadan əvvəl plastik deformasiya qabiliyyətini məhdudlaşdırır və onları daha kövrək edir. Kristallik Fe-Si materialları dislokasiyaların kristal qəfəsdən keçmə qabiliyyətinə görə daha yüksək elastikliyə malikdir və bu qırılmadan əvvəl daha çox plastik deformasiyaya imkan verir.

- Fe₉₂Si₆C₂ və Fe₉₃Si₆C₁ tərkibli amorf lentlər kristal materiallarda gərginlik konsentratorları kimi çıxış edə bilən dənə sərhədləri və dislokasiyalar kimi struktur qüsurlarının olmaması səbəbindən daha yüksək möhkəmlik həddi nümayiş etdirə bilər. Kristallik Fe-Si ərintilərin möhkəmlik həddi əlverişli olsa da, ümumiyyətlə amorf lentlərin möhkəmlik həddindən kiçikdir. Dənə sərhədlərinin mövcudluğu və dislokasiya hərəkətinin mümkünlüyü, gərginlik altında daha əvvəl dağılmaya səbəb ola bilər.

- Fe₉₂Si₆C₂ və Fe₉₃Si₆C₁ tərkibli amorf lentlər daha aşağı qırılma möhkəmliyinə malikdirlər. Çat əmələ gəldikdən sonra materialın kövrəkliyi səbəbindən daha asan yayıla bilər. Kristallik Fe-Si materialları adətən daha yüksək qırılma möhkəmliyinə malikdirlər, çünki onlar qırılmadan əvvəl daha

çox plastik deformasiyaya məruz qala bilirlər. Dənə sərhədlərinin olması çatlaqların yayılmasının qarşısını almağa kömək edərək, möhkəmliyi artırır.

Beləliklə, aldığımız eksperimental məlumatlar və apardığımız təhlillər aşağıdakı nəticələrə gəlməyə imkan verir.

Nəticələr

1. Fe-Si-C tərkibli amorf lentləri kristallik Fe-Si materialları ilə müqayisədə daha yüksək sərtliyə və möhkəmlik həddinə malikdirlər. Amorf lentlər daha kövrəkdirlər, elastiklikləri azdır və daha az qırılma möhkəmliyinə malikdirlər.
2. Kristallik Fe-Si materialların sərtliyi daha az olub, daha az möhkəmlik həddinə malikdir, lakin daha elastikdirlər. Bu da onlara daha böyük plastik deformasiyaya tab gətirməyə və amorf anoloqlarına nisbətən çatların yayılmasına daha yaxşı müqavimət göstərməyə imkan verir. Amorf materiallar möhkəmlik və sərtlik baxımından üstündür, kristallik materiallar isə elastiklik və möhkəmlik baxımından daha yaxşıdır.

İstinadlar

1. Isayeva, A. Ə., Məmmədov, F. Ş., Musazadə, İ. V., Musayeva, S. M., & Əhmədov, V. İ. (2024). Fe-Si-C əsaslı maqnitumşaq amorf lentlərin ənənəvi kristallik Fe-Si (elektrotexniki polad) materiallarını əvəz etmə imkanları. *Международный научно-практический журнал, Endless Light in Science* (№ 2/2 extra), 15-21. <https://doi.org/10.24412/2709-1201-2024-8-15-21>
2. Abdullayev, A. P., Ahmadov, V. İ., Məmmədov, F. Ş., Rafiev, N. M., & Isayeva, A. Ə. (2024). Fe₉₂Si₆C₂ və Fe₉₃Si₆C₁ tərkibli amorf lent nümunələrinin alınması prosesinin optimallaşdırılması.
3. *Международный научно-практический журнал, Endless Light in Science* (№ 2/2 extra), 3-11.
4. <https://doi.org/24412/2709-1201-2024-8-3-11>
5. Abdullayev, A. P., Ahmadov, V. İ., Şamilov, T. G., Məmmədov, F. Ş., Rafiev, N. M., Isayeva, A. A., Askerova, G. Z., & Jabirli, R. D. (2024). Применение аморфных сплавов. *Научный форум: Технические и физико-математические науки, сб. ст. по материалам LXXVI междунар. науч.практ. конф.*, № 8(76), 22-29.
6. Abdullayev, A. P., Ahmadov, V. İ., Şamilov, T. G., Məmmədov, F. Ş., Musazadə, İ. V., Rafiev, N. M., Isayeva, A. A., Musayeva, S. M., Askerova, G. Z., & Jabirli, R. D. (2024). Разработка технологии получения аморфных лент Fe-Si-C. *Universum: технические науки: научный журнал*, 56-60. <https://dx.crossref.org/10.32743/UniTech.2024.125.8>
7. Abdullayev, A. P., Ahmadov, V. İ., Şamilov, T. G., Məmmədov, F. Ş., Rafiev, N. M., Isayeva, A. A., & Jabirli, R. D. (2024). Исследование электрических свойств аморфных лент с составом
8. Fe₉₂Si₆C₂ и Fe₉₃Si₆C₁ и их сравнение с кристаллическими аналогами Fe-Si. *In the World of Science and Education*, 46-52. <https://doi.org/10.24412/3007-8946-2024-46-52>
9. Panahov, T. M., Isayeva, A. A., & Rafiyev, N. M. (2018). Магнитооптические свойства аморфных лент на основе CoFe. *Бюллетень науки и практике*, 4(8), 136-143.
10. Abdullayev, A. P., Ahmadov, V. İ., & Isayeva, A. A. (2021). Magnetic penetration investigation on the bands made of amorphous magnetically soft (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ alloys under the thermal processing.
11. *International Journal of Modern Physics B*, 35(3).
12. Abdullayev, A. P., Isayeva, A. Ə., & Əsgərova, G. Z. (2024). Kobalt əsaslı ərintinin müvəqqəti köhnəlməsi. *Elmi əsərlər, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti*, 39-44(1).
13. Panahov, T. M., Rafiev, N. M., & Huseynov, A. H. (2019). Magnetic Thermocouples Made of CoFe and FeNi Permalloys. *Technical Physics*, 89(7), 987-990.
14. Rafiyev, N. M., Ahmadov, V. İ., & Isayeva, A. Ə. (2023). Prospects to use amorphous Fe–Ni–Si–B ribbons in contactor cores. *Ukrainian Journal of Physics*, 68(3).
15. Rafiyev, N. M. (2016). Peculiarities of Surface Crystallization of AMA Crystallization of Amorphous Ribbon from the Contact Side. *International Journal of Science Research*, 5, 7.
16. Rafiyev, N. M. (2022). Effects of heat treatment on some magnetic properties of amorphous alloys containing (Fe–Ni)_{1-x} M_x (M=Si, B). *Zeitschrift für Naturforschung A ZNA*, 77(08).

17. Szewieczek, D., Tyrlik-Held, J., & Lesz, S. (2007). Structure and mechanical properties of amorphous Fe₈₄Nb₇B₉ alloy during crystallization. *Journal of Microscopy*, 24(2), 87-90.
18. Saad, A., Cremaschi, V., Moya, J., Arcondo, B., & Sirkin, H. (2002). Crystallization Process of Fe Based Amorphous Alloys: Mechanical and Magnetic Properties. *Materials Science and Engineering: A*, 877-881.
19. Li, F. C., Liu, T., Zhang, J. Y., Shuang, S., Wang, Q., Wang, A. D., Wang, J. G., & Yang, Y. (2019). Amorphous–nanocrystalline alloys: fabrication, properties, and applications. *Materials Today Nano*, 4, 100027.
20. Bresson, L., Harmelin, M., & Calvayrac, Y. (1988). Mechanical Properties of the Amorphous Alloy Fe₇₈B₁₃Si₉. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 157(1), 189-202. https://doi.org/10.1524/zpch.1988.157.Part_1.189
21. Li Wang, J., Jingang Wang, M., & Mengtao Sun. (2020). Mechanical properties of Fe-based bulk amorphous Fe₄₁Co₇Cr₁₅Mo₁₄C₁₅B₆Y₂ alloy rods. *Chemical Physics Letters*, 750, 13751.
22. Liefei, P., Xiangyun, Z., & Zizhou, Y. (2022). Application of Fe-Based Amorphous Alloy in Industrial Wastewater Treatment. *Journal of Renewable Materials*. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017617>
24. Yongchan, K., & Byoungchul, H. (2016). Effects of Metalloid Elements on the Mechanical Properties of Fe-Based Bulk Amorphous Alloys. *Korean Journal of Materials Research*, 26(12), 671675. <https://doi.org/10.3740/MRSK.2016.26.12.671>
26. Судзуки, К., Худзимори, Х., & Хасимото, К. (1987). Аморфное металлы. *Металлургия*, 304-305.
27. Хандрик, К., & Кобе, С. (1981). Аморфные магнетики. *УФН*, 143(2), 305–331.

Bu iş Azərbaycan Elm Fondunun maliyyə dəstəyi ilə yerinə yetirilmişdir. Qrant № AEF-MQM-QA-2-2023-3(45)-05/01/1-M-01

Məqaləyə istinad: İsayeva, A. Ə., Şamilov, T. Q., & Əhmədov, V. İ. (2025). Fe-Si-C tərkibli amorflent nümunələrinin mexaniki xassələrinin kristallik analoqları olan elektrotexniki poladlarla (Fe-Si) müqayisəli təhlili. Elmi Əsərlər/Scientific Works, AzMİU, 1, 90-93

For citation: Isayeva, A. A., Shamilov, T. G., & Ahmadov, V. İ. (2025). Comparative analysis of the mechanical properties of Fe-Si-C amorphous ribbon samples with their crystalline counterparts, electrotechnical steels (FeSi). Elmi Əsərlər/Scientific Works, AzUAC, 1, 90-93

Redaksiyaya daxil olma/Received 15.09.2024

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 15.12.2024