

ORCID: 0000-0002-4680-1466

**В. В. Морозович**

аспірант кафедри фізики, ННІ ІНФОТЕХ,  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна,  
[vladmorozua@gmail.com](mailto:vladmorozua@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-8186-9354

**Я. Д. Король**

канд. фіз.-мат. наук, доцент,  
директор навчально-наукового центру фізико-хімічних досліджень ЧНУ,  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна,  
[yaking@ukr.net](mailto:yaking@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-2843-0163

**Т. А. Красовський**

завідувач лабораторії,  
Київський академічний університет НАН України, Київ, Україна,  
[krastaras@gmail.com](mailto:krastaras@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-7015-1662

**Ю. О. Ляшенко**

доктор фіз.-мат. наук, професор, ННІ ІНФОТЕХ  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна,  
[urico@ukr.net](mailto:urico@ukr.net)

УДК 621.762:669.715.29

PACS 66.30.-h; 62.20. Qp; 89.20.Bb; 61.72.Ww.

DOI: 10.31651/2076-5851-2020-44-52

### **ВПЛИВ SMAT ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ СТАЛІ НА ПРОЦЕС КАРБОНІЗАЦІЇ<sup>3</sup>**

*У роботі досліджено вплив попередньої холодної деформації поверхні сталі за SMAT технологією (поверхневою механічною обробкою тертям) на подальший процес твердої карбонізації зразків сталі марки 40X. Методами рентгенівського дифракційного аналізу досліджено вплив SMAT обробки на зміну текстури сталевих зразків. Аналіз уширення дифракційних ліній вказує не лише на виникнення мікронапруг у процесі SMAT обробки, а й на збільшення концентрації вуглецю у поверхневих прошарках сталевих зразків після послідуєчої твердої карбонізації. Встановлено особливості фазоутворення  $\gamma$ -фази заліза у цих зразках. Визначено зміну залежності мікротвердості у поверхневому прошарку від часу SMAT обробки та послідуєчої карбонізації зразків сталі.*

**Ключові слова:** наноструктуровані матеріали, інтенсивна пластична деформація, поверхнева механічна обробка тертям (SMAT), карбонізація сталі, мікротвердість, рентгеноструктурний аналіз.

#### **1. Вступ**

Незважаючи на значні успіхи в галузі технологій зміцнення, завдання покращення механічних властивостей поверхневих прошарків легованих сталей, що утворюються після термохімічної обробки, залишається важливим. Зміцнення поверхневих прошарків часто є

---

<sup>3</sup> Автори висловлюють подяку директору ООО "БЕСТЕ ПЛЮС" Самелюку Сергію Вікторовичу за змістовні дискусії та допомогу у виконанні експериментальної частини дослідження.

достатнім для вирішення низки експлуатаційних характеристик виробів зі сталі. Одним з перспективних способів підвищення міцності та пластичних характеристик таких матеріалів є модифікація їх структури методами інтенсивної пластичної деформації поверхні SMAT (Surface Mechanical Attrition Treatment) [1–5]. Значне подрібнення вихідної структури зерен і отримання субмікроструктурних і нанокристалічних структурних станів за подібного роду впливів дозволяє сформувати високоміцні поверхневі прошарки без зміни хімічного складу заготовки [6, 7]. До теперішнього часу у роботах вітчизняних і зарубіжних авторів показана можливість підвищення механічних властивостей пластичних металів (Cu, Ni, Al, Ti та ін.) [1-3] за рахунок формування у них нано- та субмікронних кристалічних структур. Досягнуто суттєвого прогресу у розумінні фізичних процесів, що протікають за інтенсивної пластичної деформації металів і сплавів на їх основі, в тому числі і сталей різних класів [8, 9].

На даний час розроблено різноманітні підходи до пояснення впливу попередньої пластичної деформації на процес формування дифузійних прошарків у металевих сплавах. Зокрема, згідно з однією точкою зору попередня пластична деформація ускладнює дифузію атомів впровадження [10]. В основі цієї моделі лежить теорія про те, що атоми впровадження активно взаємодіють з дислокаціями. Дислокації виступають в ролі «пасток», що адсорбують та притягують атоми розчинених елементів [11]. Також є наукові роботи [12-14], результати яких свідчать про те, що попередня пластична деформація і утворені при цьому дефекти структури сприяють більш активній дифузії впроваджуваних компонентів.

У зв'язку з цим метою даної роботи є дослідження впливу попередньої холодної деформації за технологією SMAT обробки на процес послідувочої карбонізації сталі 40X. Для цього було поставлено наступні цілі: дослідити вплив SMAT обробки на структурний стан поверхневих прошарків сталі методами рентгеноструктурного аналізу, визначити вплив SMAT обробки поверхні на процес твердої карбонізації сталі шляхом вимірювання мікротвердості поверхонь оброблених зразків.

## 2. Методи і матеріали

Досліди проводилися на циліндричних зразках зі сталі марки 40X (діаметр та висота 20×20 мм). Дані зразки попередньо полірували наждачним папером з розміром зерна 3-5 мкм (P2500). Потім проводилася холодна деформація за SMAT технологією з використанням оригінального приладу [15]. Для процесу холодної деформації за SMAT технологією застосовували кульки з нержавіючої сталі (100 шт.), діаметром 0,8 мм. Хіміко-термічну обробку (ХТО) зразків здійснювали у твердому карбонізаторі впродовж 12 годин за температури 930 °С.

Рентгеноструктурний аналіз проводився на дифрактометрі ДРОН-3 у монохроматизованому FeK $\alpha$ -випромінюванні. Елементний склад зразків визначався на рентгенофлюоресцентному спектрометрі. Результати вимірів приведено в таблиці 1.

Таблиця 1  
Елементний склад зразків  
Table 1  
Elemental composition of samples

Елемент	Концентрація, мас. %
Si	0.002
Cr	0.856
Mn	1.451
Fe	97.433
Ni	0.254

Мікротвердість зразків визначали на мікротвердомірі ПМТ-3 методом вимірювання твердості за Вікерсом (ДСТУ ISO 6507-1) з використанням навантаження грузиком 100 гр.

Для проведення досліджень було виготовлено 4 зразки, приведені в Таблиці 2.

Таблиця 2  
Характеристики високочастотної обробки за SMAT технологією  
Table 2  
Characteristics of high-frequency processing by SMAT technology

№ Зразка	Частота, КГц	Розмір кульок, мм	Кількість кульок, шт	Час обробки, хв
Зразок 1	20	0,8	100	—
Зразок 2	20	0,8	100	5
Зразок 3	20	0,8	100	10
Зразок 4	20	0,8	100	30

### 3. Результати і обговорення

Отримані за допомогою рентгенодифрактометра ДРОН-3 дифрактограми зразків були досліджені методом рентгеноструктурного аналізу шляхом порівняння з еталонними дифрактограмами відпаленого порошку заліза (див. Рис. 1а).

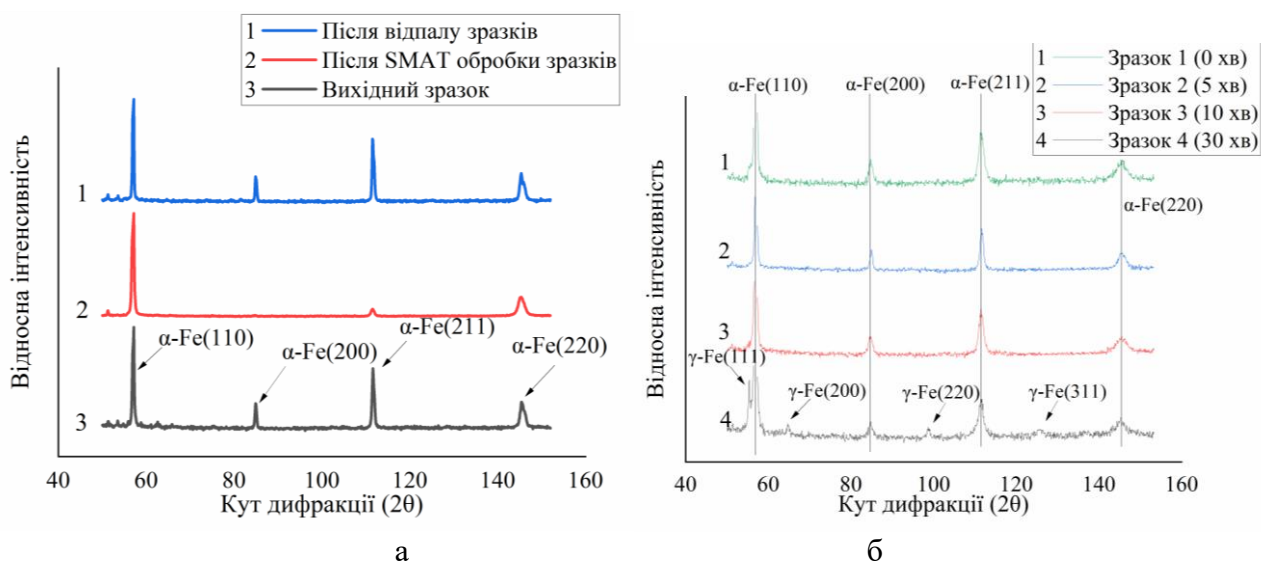


Рис. 1 Дифрактограми від досліджених зразків сталі: (а) до карбонізації; (б) після карбонізації.

Fig. 1 Diffractograms from the studied steel samples: (a) before carbonization; (b) after carbonization.

Аналіз дифрактограм сталі до та після SMAT обробки поверхні показав, що деформований прошарок містить характерну аксіальну текстуру (110). Про це свідчить співвідношення висоти відповідних піків (Рис. 1а) на дифрактограмах. Було встановлено, що двогодинний відпал (за температури 1000 °С) обробленого за SMAT технологією зразка відновлює вихідну структуру (Рис. 1а лінія 1).

В результаті аналізу дифрактограм від сталених зразків (Рис.1б) було встановлено, що після 30 хв SMAT обробки поверхні зразків та наступної їх карбонізації з'являється система піків γ-фази заліза (Рис. 1б лінія 4).

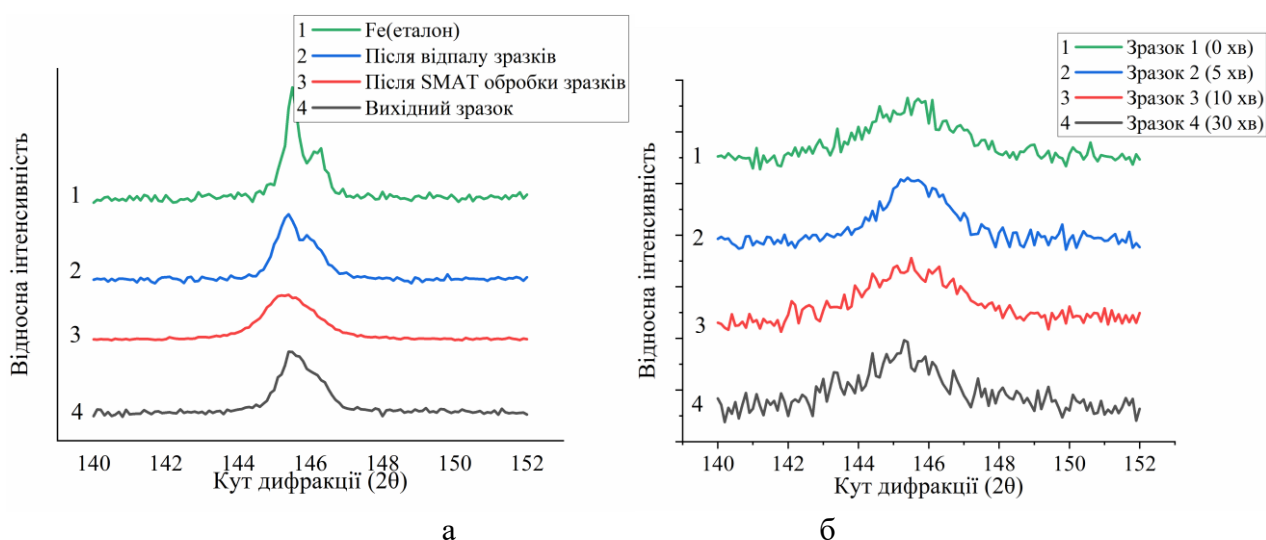


Рис. 2 Дифрактограми сталевих зразків за кутів дифракції 140°-152°: (а) до карбонізації; (б) після карбонізації.

Fig. 2 Diffractograms of steel samples at diffraction angles 140°-152°: (a) before carbonization; (b) after carbonization.

Порівняння дифрактограм сталевих зразків з еталоном Fe у діапазоні кутів дифракції 140°-152° показав, що SMAT обробка поверхні сталі призводить до уширення піків, яке спричинене виникненням мікронапруг. Подальший термічний відпал приводить до зменшення мікронапруг (Рис 2а) про що свідчить дублетність піку (лінія 2 Рис. 2а). Тому можна припустити, що після процесу карбонізації уширення піків може бути спричинене збільшенням концентрації вуглецю (Рис 2б) у матриці заліза.

Таблиця 3  
Мікротвердість сталевих зразків після карбонізації  
Table 3  
Microhardness of steel samples after carbonization

	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
Відстань від поверхні, мкм	Мікротвердість, кг/мм <sup>2</sup>			
100	324	639	304	442
300	262	463	201	337
500	250	435	164	282
700	221	289	156	224
900	197	256	156	189
1100	186	219	156	186
1300	182	189	156	175
1500	182	210	156	168
1700	177	210	156	162
1900	175	199	156	168
2100	175	206	156	165
2300	172	200	156	162
2500	172	197	156	168
2700	168	195	156	162
2900	165	201	156	162
3100	162	168	156	162

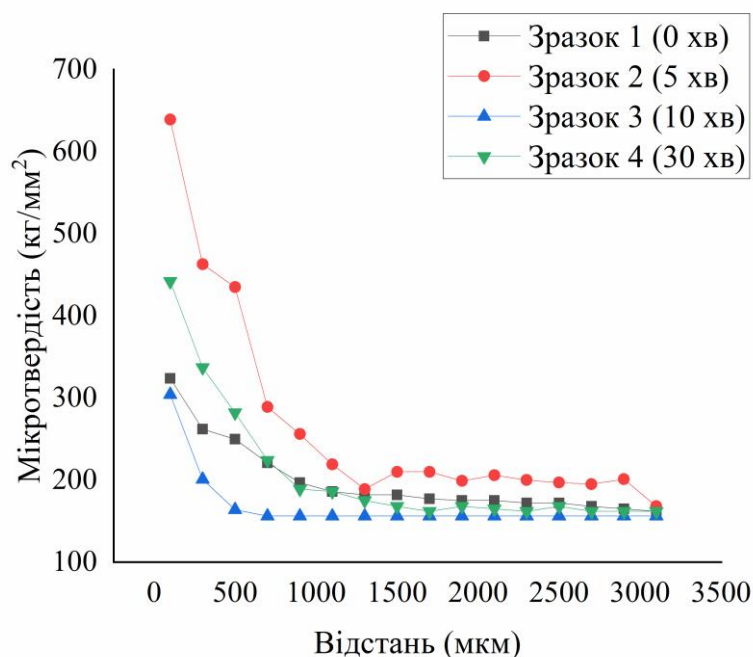


Рис 3. Залежність значення мікротвердості від відстані від поверхні зразків.  
Fig. 3. The dependence of the microhardness value on the distance from the surface of the samples.

З рисунка 3 видно, що SMAT обробка поверхні сталевих зразків призводить до зміни мікротвердості поверхневих прошарків зразків після процесу їх карбонізації. А саме, після 5 хвилинної SMAT обробки та послідувочої карбонізації значення мікротвердості мають найбільші значення. Після десятихвилинної обробки значення мікротвердості стрімко знижуються (зразок 3 Рис. 3). В зразках з часом SMAT обробки 30 хв. значення мікротвердості після твердої карбонізації на відстанях до 700 мкм зростають, а на більших відстанях збігаються зі значеннями мікротвердості необробленого зразка. Оскільки дифузія вуглецю є структурно залежним процесом, такі результати можуть бути пов'язані з утворенням наноструктур [9] в процесі SMAT обробки поверхні зразків. Виявлені неоднорідності в функціональних залежностях значень мікротвердості від відстані від поверхні можуть бути зв'язані з особливостями утворення та динаміки дислокаційної структури. Тому, отримані результати потребують більш детального теоретичного та модельного дослідження.

#### 4. Висновки

В статті описано технологію модифікування поверхневих прошарків сталі марки 40Х з використанням розробленого пристрою для високочастотної поверхневої механічної обробки тертям (SMAT обробки) зразків сталі та їх послідувочої твердої карбонізації.

Вплив SMAT обробки поверхневих прошарків сталі на процес послідувочої карбонізації сталі досліджено за допомогою рентгенівського дифракційного аналізу. Проведений аналіз показав, що уширення дифракційних ліній від зразків, що отримані після SMAT обробки, зв'язано зі зменшенням розмірів зерен та виникненням мікронапруг. Однак, на відміну від зразків оброблених за SMAT технологією, у карбонізованих зразках уширення піків спричинене також збільшенням вмісту вуглецю. Отримані результати рентгеноструктурного аналізу дозволяють зробити такі висновки: після обробки за SMAT технологією утворюється текстурована поверхня сталі з орієнтацією площин (110) та (220). Після тривалої (30 хв.) SMAT обробки у процесі карбонізації виникають дифракційні піки від  $\gamma$ -Fe фази.

Встановлено, що поверхнева SMAT обробка сталі приводить, також, до зміни мікротвердості та глибини проникнення вуглецю у процесі твердої карбонізації. В оброблених за SMAT технологією зразках мікротвердість збільшується після нетривалої обробки (5 хв).

Десятихвилинна SMAT обробка призводить до зменшення показів мікротвердості у поверхневому прошарку. Тривала (30 хв) обробка спричинює зростання мікротвердості у близьких до поверхні прошарках (до 700 мкм) зразка, на більших відстанях від поверхні значення мікротвердості повторюють значення необробленого за SMAT технологією зразка, що потребує подальшого і більш детального дослідження.

#### Список використаної літератури:

1. Lu K. Nanostructured surface layer on metallic materials induced by surface mechanical attrition treatment / K. Lu, J. Lu // *Materials Science and Engineering*. –2004. –Vol. 375. – P. 38-45. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.261>
2. Tao N. R. An investigation of surface nanocrystallization mechanism in Fe induced by surface mechanical attrition treatment / N. R. Tao, Z. B. Wang, W. P. Tong, M. L. Sui, J. Lu, K. Lu // *Acta Materialia*. – 2002. – Vol. 50, № 18. – P. 4603-4616. Режим доступу: [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(02\)00310-5](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(02)00310-5)
3. Zhang H. W. Formation of nanostructured surface layer on AISI 304 stainless steel by means of surface mechanical attrition treatment / H. W. Zhang, Z. K. Hei, G. Liu, J. Lu, K. Lu // *Acta Materialia*. – 2003. – Vol. 51, № 7. – P. 1871-1881. Режим доступу: [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(02\)00594-3](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(02)00594-3)
4. Wu X. Strain-induced grain refinement of cobalt during surface mechanical attrition treatment / X. Wu, N. Tao, Y. Hong, G. Liu, B. Xu, J. Lu, K. Lu // *Acta Materialia*. – 2005. – Vol. 53, № 3. – P. 681-691. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2004.10.021>
5. Zhou L. Strain-induced refinement in a steel with spheroidal cementite subjected to surface mechanical attrition treatment / L. Zhou, G. Liu, X. L. Ma, K. Lu // *Acta Materialia*. – 2008. – Vol. 56, № 1. – P. 78-87. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2007.09.003>
6. Valiev R. Z. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation / R. Z. Valiev, R. K. Islamgaliev, I. V. Alexandrov // *Progress in Materials Science*. – 2000. – Vol. 45, № 2, – P. 103-189. Режим доступу: <http://li.mit.edu/S/td/Paper/Valiev00.pdf>
7. Yurkova A. I. Structure and mechanical properties of iron subjected to surface severe plastic deformation by attrition: II. Mechanical properties of nano- and submicrocrystalline iron / A. I. Yurkova, Y. V. Milman, A. V. Byakova // *Russian Metallurgy (Metally)*. – 2010. – Vol. 2010, № 4. – P. 258-263. Режим доступу: <https://doi.org/10.1134/S0036029510040026>
8. Panin V. E. On the nature of low-temperature brittleness of BCC steels / V. E. Panin, L. S. Derevyagina, N. M. Lemeshev, A. V. Korznikov, A. V. Panin, M. S. Kazachenok // *Physical Mesomechanics*. – 2014. – Vol. 17, № 2. – P. 89-96. Режим доступу: <https://doi.org/10.1134/S1029959914020015>
9. Raab G. I. Dislocation structure evolution during plastic deformation of low-carbon steel / G. I. Raab, Y. M. Podrezov, G. N. Aleshin // *Materials Science Forum*. – 2016. – Vol. 870, – P. 253-258. Режим доступу: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.870.253>
10. Kovalevskaya Z. G. Features of formation of layers nitrated in plastically deformed steel 40X treated with intensive nitrogen ion fluxes / Z. G. Kovalevskaya, V. A. Kukareko // *Mathematics and Mechanics. Physics*. –2014. – Vol. 324, № 2. – P. 126. Режим доступу: [http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/44215/1/bulletin\\_tpu-2014-v324-i2.pdf#page=126](http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/44215/1/bulletin_tpu-2014-v324-i2.pdf#page=126)
11. Belkin P. N. Plasma electrolytic saturation of steels with nitrogen and carbon / P. N. Belkin, A. Yerokhin, S. A. Kusmanov // *Surface and Coatings Technology*. – 2016. – Vol. 307. – P. 1194-1218. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.06.027>
12. Geguzin Y. E. Interphase boundary motion kinetics in mutual diffusion in two-component system / Y. E. Geguzin, Y. S. Kaganovskij, L. N. Paritskaya, V. I. Solunskij // *Fizika Metallov i Metallovedenie*. – 1979. – Vol. 47, № 4. – P. 821-833. Режим доступу: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:11502016](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:11502016)
13. Spiridonova I. M. The study of the influence of prior cold plastic deformation on the diffusion of carbon and boron in the boron-containing alloys on the iron base / I. M. Spiridonova, M. Y. Filonenko, S. B. Piliaieva. // *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National*

University of Railway Transport. – 2008. – Vol.1, № 23. – P. 183-186. Режим доступу: <https://doi.org/10.15802/stp2008/15009>

14. Vlasov V. M. Effect of preliminary cold plastic deformation on the kinetics of the nicrotriation process of heat-resistant steels / V. M. Vlasov, K. V. Zhigunov, I. S. Ivan'kin, M. I. Vasin // *Metal science and heat treatment*. – 2002. – Vol. 44, № 9. – P. 402-404. Режим доступу: <https://doi.org/10.1023/A:1021959302374>

15. Дерев'янка С. І. Вплив обробки поверхні за технологією SMAT на механічні властивості поверхневих шарів міді / С. І. Дерев'янка, В. В. Морозович, Т. А. Красовський, Ю. О. Ляшенко // Вісник Черкаського університету. Серія «Фізико-математичні науки». – 2019. – №1. – С. 60-68. Режим доступу: <http://eprints.cdu.edu.ua/id/eprint/2678>

### References:

1. Lu K. A. L. J., & Lu, J. (2004). Nanostructured surface layer on metallic materials induced by surface mechanical attrition treatment. *Materials Science and Engineering: A*, 375, 38-45. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.261>

2. Tao, N. R., Wang, Z. B., Tong, W. P., Sui, M. L., Lu, J., & Lu, K. (2002). An investigation of surface nanocrystallization mechanism in Fe induced by surface mechanical attrition treatment. *Acta materialia*, 50(18), 4603-4616. Retrieved from: [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(02\)00310-5](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(02)00310-5)

3. Zhang, H. W., Hei, Z. K., Liu, G., Lu, J., & Lu, K. (2003). Formation of nanostructured surface layer on AISI 304 stainless steel by means of surface mechanical attrition treatment. *Acta materialia*, 51(7), 1871-1881. Retrieved from: [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(02\)00594-3](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(02)00594-3)

4. Wu, X., Tao, N., Hong, Y., Liu, G., Xu, B., Lu, J., & Lu, K. J. A. M. (2005). Strain-induced grain refinement of cobalt during surface mechanical attrition treatment. *Acta Materialia*, 53(3), 681-691. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2004.10.021>

5. Zhou, L., Liu, G., Ma, X. L., & Lu, K. (2008). Strain-induced refinement in a steel with spheroidal cementite subjected to surface mechanical attrition treatment. *Acta Materialia*, 56(1), 78-87. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2007.09.003>

6. Valiev, R. Z., Islamgaliev, R. K., & Alexandrov, I. V. (2000). Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation. *Progress in materials science*, 45(2), 103-189. Retrieved from: <http://li.mit.edu/S/td/Paper/Valiev00.pdf>

7. Yurkova, A. I., Milman, Y. V., & Byakova, A. V. (2010). Structure and mechanical properties of iron subjected to surface severe plastic deformation by attrition: II. Mechanical properties of nano- and submicrocrystalline iron. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2010(4), 258-263. Retrieved from: <https://doi.org/10.1134/S0036029510040026>

8. Panin, V. E., Derevyagina, L. S., Lemeshev, N. M., Korznikov, A. V., Panin, A. V., & Kazachenok, M. S. (2014). On the nature of low-temperature brittleness of BCC steels. *Physical Mesomechanics*, 17(2), 89-96. Retrieved from: <https://doi.org/10.1134/S1029959914020015>

9. Raab, G. I., Podrezov, Y. M., & Aleshin, G. N. (2016). Dislocation structure evolution during plastic deformation of low-carbon steel. In *Materials Science Forum*, (870), 253-258. Retrieved from: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.870.253>

10. Kovalevskaya, Z. G., & Kukareko, V. A. (2014). Features of formation of layers nitrated in plastically deformed steel 40X treated with intensive nitrogen ion fluxes. *Mathematics and Mechanics. Physics*, 324(2), 126. Retrieved from: [http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/44215/1/bulletin\\_tpu-2014-v324-i2.pdf#page=126](http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/44215/1/bulletin_tpu-2014-v324-i2.pdf#page=126)

11. Belkin, P. N., Yerokhin, A., & Kusmanov, S. A. (2016). Plasma electrolytic saturation of steels with nitrogen and carbon. *Surface and Coatings Technology*, (307), 1194-1218. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.06.027>

12. Geguzin, Y. E., Kaganovskij, Y. S., Paritskaya, L. N., & Solunskij, V. I. (1979). Interphase boundary motion kinetics in mutual diffusion in two-component system. *Fizika Metallov i Metallovedenie*, 47(4), 821-833. Retrieved from: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:11502016](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:11502016)

13. Spiridonova, I. M., Filonenko, M. Y., & Piliaieva, S. B. (2008). The study of the influence of prior cold plastic deformation on the diffusion of carbon and boron in the boron-containing alloys on the iron base. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, (23), 183-186. Retrieved from: <https://doi.org/10.15802/stp2008/15009>
14. Vlasov, V. M., Zhigunov, K. V., Ivan'kin, I. S., & Vasin, M. I. (2002). Effect of preliminary cold plastic deformation on the kinetics of the nitrotriation process of heat-resistant steels. *Metal science and heat treatment*, 44(9), 402-404. Retrieved from: <https://doi.org/10.1023/A:1021959302374>
15. Derevianko, S. I., Morozovych, V. V., Krasovskiy, T. A., & Lyashenko, Y. O. (2019). The effect of surface treatment on high-frequency SMAT technology on the mechanical properties of surface copper. *Cherkasy University Bulletin: Physical and Mathematical Sciences*, 1(1), 60-68. Retrieved from: <http://eprints.cdu.edu.ua/id/eprint/2678>

**V. V. Morozovych**

PhD student of the Department Physics, Educational-Scientific Institute of Informational and Educational Technologies, The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine, [vladmorozua@gmail.com](mailto:vladmorozua@gmail.com)

**Ya. D. Korol**

Candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, Director of the Educational and Scientific Center for Physical and Chemical Research, The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine, [yaking@ukr.net](mailto:yaking@ukr.net)

**T. A. Krasovskiy**

Head of the Laboratory, Kyiv Academic University, Kyiv, Ukraine, [krastaras@gmail.com](mailto:krastaras@gmail.com)

**Yu. O. Lyashenko**

doctor of physical and mathematical sciences, professor, Educational-Scientific Institute of Informational and Educational Technologies The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine, [urico@ukr.net](mailto:urico@ukr.net)

**INFLUENCE OF SMAT PROCESSING STEEL SURFACE ON THE CARBONIZATION PROCESS**

**Summary** *This article is about the influence of preliminary cold deformation of steel surface by SMAT (surface mechanical attrition treatment) technology to explore the process of solid carbonization of 40X steel samples. The influence of SMAT processing on the change of texture of steel samples was investigated by the methods of X - ray crystallography. The analysis of the broadening the diffraction lines indicates not just the creating of microstress during SMAT processing, but also an increase in the concentration of carbon in the surface layers of steel samples after solid carbonization. Peculiarities of iron  $\gamma$ -phase phaseformation in these samples have been established. The change in the dependence of the microhardness in the surface layer on the time of SMAT processing and subsequent carbonization of steel samples is determined.*

*The influence SMAT treatment of surface steel layers on the subsequent carbonization of steel process was investigated by X-ray diffraction analysis. The analysis showed that the broadening of the diffraction lines from the samples obtained after SMAT treatment is associated with a decrease in grain size and the emergence of microvoltages. However, in contrast to samples processed by*



*SMAT technology, in carbonized samples the broadening of the peaks is also caused by an increase in carbon content. The obtained results of X-ray diffraction analysis allow us to draw the following conclusions: after processing by SMAT technology, a textured steel surface with the orientation of the planes (110) and (220) is formed. After a long (30 min.) SMAT treatment in the carbonization process there are diffraction peaks from the  $\gamma$ -Fe phase.*

*It established that the surface SMAT treatment of steel also leads to changes in the microhardness and depth penetration of carbon in the process of solid carbonization. In SMAT-treated samples, the microhardness increases after a short treatment (5 min). Ten-minute SMAT treatment reduces the microhardness readings in the surface layer. Prolonged (30 min) treatment causes an increase in microhardness in near-surface layers (up to 700  $\mu\text{m}$ ) of the sample, at greater distances from the surface the microhardness values repeat the values of untreated SMAT sample, which requires further and more detailed study.*

**Keywords:** nanostructured materials; intensive plastic deformation; surface mechanical attrition treatment (SMAT); carbonization of steel; microhardness; X-ray crystallography.

*Одержано редакцією 06.10.2020*

*Прийнято до друку 28.11.2020*