

Abstract. The favourable combination of mechanical properties and corrosion resistance in Duplex Stainless Steels (DSS) is due to their biphasic microstructure, consisting of almost equal volume fractions of ferrite and austenite. However, all types of DSS are subject to secondary phases precipitation phenomena, especially in the temperature range 600–1000°C, which can occur even for very short soaking times, compromising the interesting properties of these steels.

The main secondary phase observed in DSS is the intermetallic σ -phase, which forms from ferrite via eutectoid decomposition at high temperatures, and is generally accompanied by the formation of another intermetallic, the χ -phase. The precipitation of these phases is mainly observed in the high-alloyed DSS grades, while in the lower-alloyed Lean DSS it has not been reported, probably owing to reduced levels of chromium and molybdenum. On the contrary, in all DSS grades nitrides precipitation is usually observed.

In this work, the precipitation kinetics of secondary phases in two Lean DSS are examined, after isothermally treating the materials within the critical temperature ranges. In grade LDX 2101, only nitrides were detected, whereas a significant precipitation of σ -phase was observed in LDX 2404 for soaking times longer than 1 hour.

Keywords: lean duplex stainless steels, isothermal heat treatments, σ phase, chromium nitride, precipitation kinetics.

References

1. Nilsson J. O. Mater Sci Tech Ser 8 (1992) 685.
2. Gunn R. N. Duplex Stainless Steels: Microstructure, Properties and Applications. Abington Publishing, Cambridge, England (1997).
3. Calliari I., Pellizzari M., Ramous E. Mat Sci Tech Ser 27 (2011) 928.
4. Calliari I., Zanesco M., Ramous E. and Bassani P. J Mater Eng Perform 16 (2007) 109.
5. Calliari I., Bassani P., Brunelli K., Breda M. and Ramous E. J Mater Eng Perform 22 (2013) 3860.
6. Calliari I., Pellizzari M., Zanellato M., Ramous E. J Mater Sci 46 (2011) 6916.
7. Wessman S., Petterson R. and Hertzman S. Steel Res Int 81 (2010) 337.
8. Pohl M., Storz O., Glogowski T. Mater Charact 58 (2007) 65.
9. Nilsson J.O., Kangas P., Karlsson T. and Wilson A. Metall Mater Trans A 31A (2000) 35.
10. Knyazeva M., Pohl M. Metall Microstr Anal 2 (2013) 343.
11. Sundman B., Jansson B. and Anderson J.O. CALPHAD 9 (1985).
12. Kaufman L. and Bernstein H. Computer calculation of phase diagrams. Man. Labs. Inc. Cambridge, Mass/Academic Press, New York (1970).
13. Calliari I., Breda M., Miranda Pérez A.F., Ramous E., Bertelli R. Proc. Conf. International Conference & Exhibition on Analysis & Testing of Metallurgical Processes & Materials. The Chinese Society for Metals, Beijing (RC), 2012.
14. Cho H.S., Lee K. Mater Charact 75 (2013) 29.
15. Duprez L., De Cooman B.C. and Akdut N. Steel Res 72 (2001) 311.

УДК 621.81

УДАРНО-ФРИКЦИОННАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ГИБКИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю., Копцева Н.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Исследована возможность использования секционной дисковой вращающейся проволочной щетки для наноструктурирования поверхностного слоя металлических изделий с последующим нанесением функциональных покрытий сплошной проволочной щеткой. Установлено, что методом ударно-фрикционной обработки возможно получение твердого наноструктурированного поверхностного слоя с размером фрагментов до 0,13 мкм подобно тому, как это достигается при интенсивной пластической деформации.

Ключевые слова: поверхностное упрочнение, наноструктурирование, фрикционное плакирование, гибкий инструмент.

Введение

Гибкий инструмент – вращающиеся проволочные щетки (ВПЩ) применяются для очистно-упрочняющей обработки в различных обла-

стях техники [1], в том числе для нанесения покрытий [2]. В работе [3] рассмотрена фрикционная наноструктурирующая обработка металлических поверхностей сплошной ВПЩ. Известно, что при применении секционных

дисковых щеток поверхность упрочняется наиболее эффективно. Для этой цели используются также щетки с ударными элементами, которые сложны по конструкции в изготовлении и недолговечны в эксплуатации [1].

По нашему мнению, для упрочнения и наноструктурирования поверхностного слоя целесообразно использовать секционные щетки, изготовленные из стальной закаленной проволоки, сплетенной в пучки. При входе в контакт такого пучка с поверхностью изделия он оказывает не только фрикционное воздействие, но и ударное, подобно струе дроби из дробеметной установки или при упрочнении чеканкой.

Следует отметить, что обычно скорость струи дроби составляет 60–70 м/с [4]. Таких скоростей легко достигнуть и для ВПЩ.

Цель настоящей работы – изучение возможности наноструктурирования стальной поверхности при обработке секционной ВПЩ и последующего нанесения на эту поверхность функциональных покрытий сплошной ВПЩ.

Материалы и методика эксперимента

Обработка образцов проводилась в два этапа.

Вначале поверхность образцов упрочняли секционной ВПЩ, а затем ее заменяли на сплошную, которой наносили покрытие.

Цилиндрические образцы, изготовленные из стали 20, диаметром 12 мм обрабатывали на токарном станке, на суппорт которого устанавливалась специальная приставка [5]. Диаметр секционной ВПЩ – 200 мм, скорость вращения 6 000 об/мин, диаметр стальной проволоки ворса – 0,5 мм, длина пучка 40 мм, расстояние между пучками 10 мм, натяг (величина подачи ВПЩ на образец) 3–4 мм. Материал для нанесения покрытия изготавливали в виде прутка диаметром 20 мм, который прижимался к сплошной ВПЩ (диаметр 175 мм, диаметр гофрированной стальной проволоки 0,25 мм) с усилием 20–40 Н. Натяг – 2–3 мм, число проходов ВПЩ по обрабатываемой поверхности 4. В качестве материала покрытия была использована латунь Л-63.

Анализ микроструктуры выполнялся с помощью металлографического микроскопа Meiji Techno с применением системы компьютерного анализа изображений Thixomet Pro [6]. Растровый электронно-микроскопический (РЭМ) анализ осуществлялся с помощью микроскопа

JSM-6490LV при ускоряющем напряжении 30 кВ в режиме вторичных электронов. Микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) проводился с использованием приставки Oxford. Твердость измерялась методом вдавливания алмазной пирамиды в соответствии с ГОСТ 9450-76 на твердомере Buehler Micromet.

Результаты и их обсуждение

Исследование микроструктуры методами оптической микроскопии показало, что во всех случаях на поверхности образуется деформированный слой (рис. 1). В образце, подвергнутого обработке, секционной ВПЩ на поверхности обнаружен слой, имеющий повышенную травимость толщиной порядка 50 мкм (рис. 1, а). В образце, подвергнутого комбинированной обработке (деформационной + нанесение покрытия), на поверхности были выявлены два слоя: первый слой – латунное покрытие толщиной до 10 мкм и второй – слой сильнодеформированной структуры толщиной порядка 30 мкм (рис. 1, б).

РЭМ показал, что в обоих случаях в микроструктуре поверхностного слоя происходит формирование деформационных полос, состоящих из вытянутых зерен феррита, которые ориентированы перпендикулярно оси образца (рис. 2, а, в). Кроме того, происходит вытягивание перлитных участков и деформация и дробление цементитных пластин в них (рис. 2, б, г).

В образце, подвергнутом ударно-деформационной обработке секционной ВПЩ, имеется слой с повышенной травимостью, который методами оптической микроскопии невозможно разрешить (см. рис. 1, а). Методом РЭМ лишь в отдельных участках различаются волокна толщиной порядка 0,15 мкм, что свидетельствует о большой деформации (рис. 2, а). Такой слой можно условно отнести к аморфизированному слою [3].

В образце, подвергнутом комбинированной обработке ударно-фрикционной секционной и сплошной ВПЩ с нанесением латунного покрытия, имеется подслоя, состоящий из смеси стали и латуни (рис. 2, в).

Исследование распределения элементов по линии методом МРСА подтверждается перекрытием линий, что, очевидно, связано с перемешиванием материалов при нанесении покрытия (рис. 3).

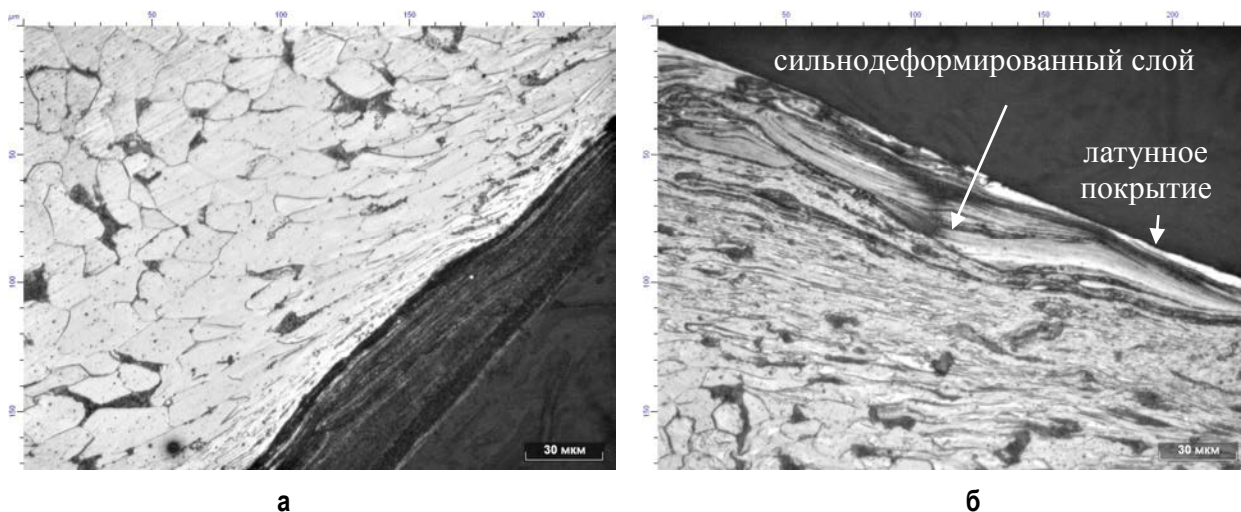


Рис. 1. Общий вид микроструктуры поверхностного слоя прутка стали марки 20:
а – ударно-деформационная; б – комбинированная обработка щетками, х 500

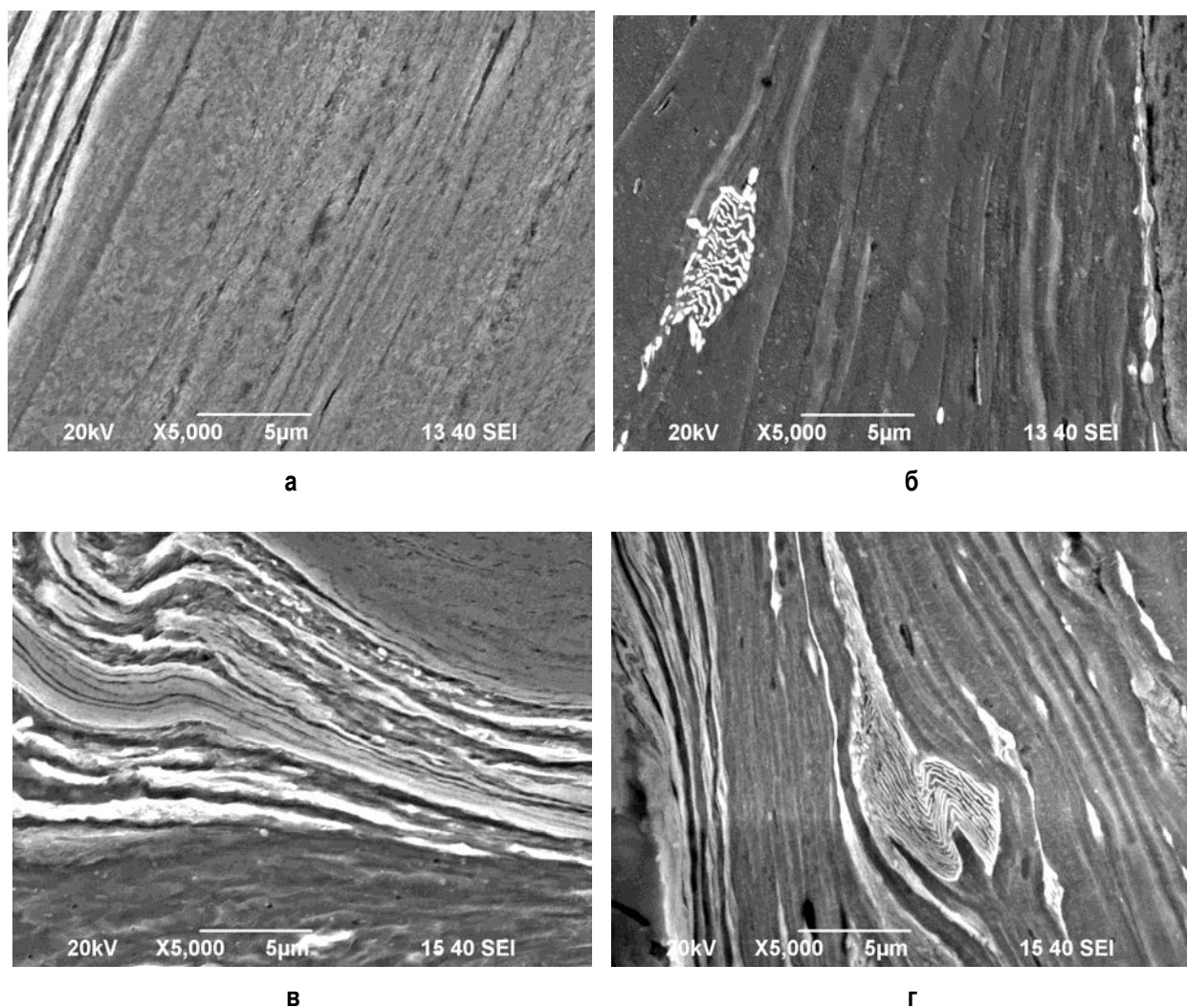
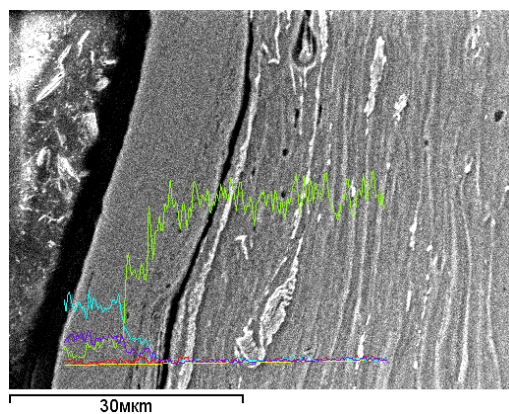
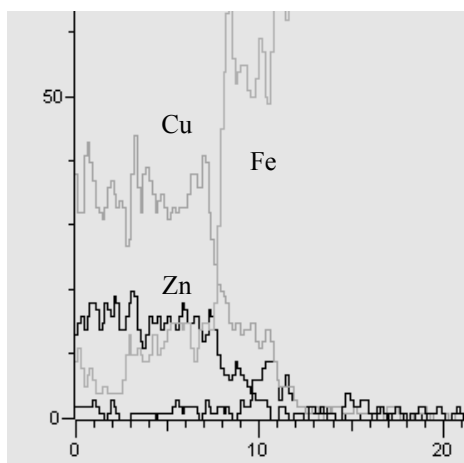


Рис. 2. Особенности строения поверхностного слоя прутка стали 20:
а, б – ударно-деформационная обработка; в, г – комбинированная обработка



а



б

Рис. 3. МРСА распределением элементов по линии: а – электронное изображение микроструктуры с наложенными линиями распределения элементов; б – график распределения элементов по линии

В основном материале в поверхностном слое помимо образования в микроструктуре деформационных полос развиваются процессы фрагментации в них с образованием фрагментов размером до 0,13 мкм (рис. 4). Аналогичный размер фрагментов возможно получить различными методами интенсивной пластической деформации (ИПД), в частности равноканальным угловым прессованием (РКУП) на таком же классе сталей [6, 7].

Сопоставление микротвердости (рис. 5), измеренной в различных участках, показало, что максимальная твердость в образце без покрытия наблюдалась в аморфизированном слое и составило 5886 МПа, что более чем в 3 раза превышает твердость в центральной области образца. Наибольшее значение микротвердости в образце с покрытием зафиксировано в слое, состоящем из смеси стали и латуни, который имеет сильно деформированную структуру (она в 2 раза превышает твердость центральной области) (см. рис. 2, в, г и рис. 4).

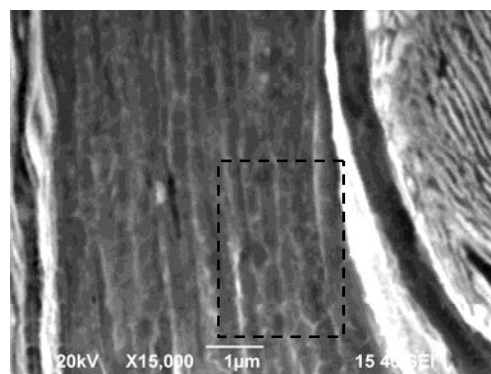


Рис. 4. Образование фрагментов в деформационных полосах

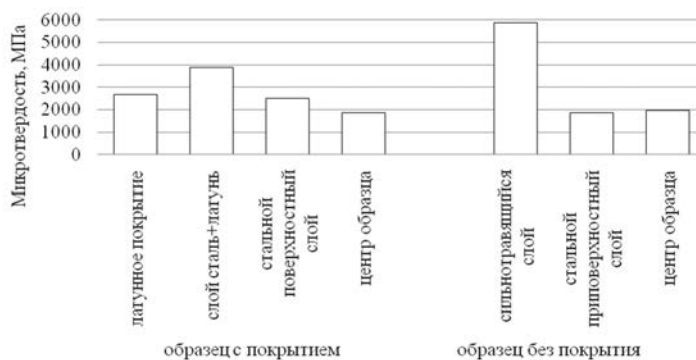


Рис. 5. Сопоставление микротвердости прутков из стали 20 после различных обработок

Заключение

Результаты исследования показали, что методом ударно-фрикционной обработки гибким инструментом возможно получение твердого наноструктурированного поверхностного слоя с размером фрагментов до 0,13 мкм подобно тому, как это достигается при ИПД.

Ударно-фрикционная обработка секционными ВПЩ может быть использована для упрочнения деталей и инструмента. Нанесение функциональных покрытий может дополнительно повысить износостойкость и другие служебные характеристики. Этот метод высокопроизводителен, экологически чист, не требует дорогостоящего оборудования и может быть реализован на обычных металлообрабатывающих станках.

Список литературы

1. Переписка Е.В. Очистно-упрочняющая обработка изделий щетками. М.: Машиностроение, 1989.
2. А.с. 57162 СССР. Способ нанесения металлических покрытий / А.А. Абиндер // Б.И. 1940. №6.
3. Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю. Фрикционная наноструктурирующая обработка металлических поверхностей и нанесение фрикционных покрытий гибким инструментом // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональ-

- ные покрытия, 2014. № 1. С. 70-76.
4. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов: Справочник. М.: Машиностроение, 1986.
 5. Белевский Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом. - Магнитогорск: Лицей РАН, 1996.
 6. Koptseva N.V., Chukin M.V., Nikitenko O.A. Use of the Thixomet PRO software for quantitative analysis of the ultrafine-grain structure of low-and medium-carbon steels subjected to equal channel angular pressing. // *Metal Science and Heat Treatment*. 2012. Т. 54. № 7-8. С. 387-392.
 7. Формирование структуры и механических свойств углеродистой конструкционной стали в процессе наноструктурирования методом равноканального углового прессования / Коццева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Барышников М.П., Никитенко О.А. // *Деформация и разрушение материалов*. 2011. № 7. С. 11-17.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

IMPACT FRICTION COMBINED PROCESSING BY FLEXIBLE TOOLS

Belevskiy Leonid Sergeevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 09 76 79. E-mail: l.belevskiy@mail.ru.

Belevskaya Irina Valeryevna – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 23 06 82. E-mail: belirena@yandex.ru.

Efimova Yuliya Yurevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 84 81. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Koptseva Nataliya Vasilevna – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 85 67. E-mail: kopceva1948@mail.ru.

Abstract. This article investigates a possible use of a section rotary wire wheel brush for nanostructure formation of a metalware surface layer with further application of functional coatings by a solid wire brush. It is established that the impact friction processing technique may be used to get a hard nanostructured surface layer containing fragments of 0.13 μm or less, just as it is achieved by intensive plastic deformation.

Keywords: surface hardening, nanostructure formation, friction plating, flexible tool.

References

1. Perepichka E.V. *Ochistno-uprochnyayushchaya obrabotka izdeliy shchetkami* [Cleaning and hardening processing of products by brushes]. Moscow: Mashinostroenie, 1989.
2. Abinder A.A. Metal coating application technique. Author's certificate USSR, no. 57162, 1940.
3. Belevskiy L.S., Belevskaya I.V., Efimova Yu.Yu. *Friktsionnaya nanostukturiruyushchaya obrabotka metallicheskih poverkhnostey i nanosenie friktsionnykh pokrytiy gibkim instrumentom* [Friction nanostructuring of metal surfaces and application of friction coatings by flexible tools]. *News of higher educational institutions. Powder metallurgy and functional coatings*, 2014, no. 1, pp. 70-76.
4. Polevoy S.N., Evdokimov V.D. *Uprochnenie metallov* [Metal hardening]: Handbook. Moscow: Mashinostroenie, 1986.
5. Belevskiy L.S. Plastic deformation of a surface layer and coating formation by flexible tools. Magnitogorsk: Lyceum of the Russian Academy of Sciences, 1996.
6. Koptseva N.V., Chukin M.V., Nikitenko O.A. Use of the Thixomet PRO software for quantitative analysis of the ultrafine-grain structure of low-and medium-carbon steels subjected to equal channel angular pressing. *Metal Science and Heat Treatment*, 2012, vol. 54, no. 7-8, pp. 387-392.
7. Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Baryshnikov M.P., Nikitenko O.A. Formation of the structure and mechanical properties of carbon structural steel during nanostructuring by equal channel angular pressing. *Material deformation and destruction*, 2011, no. 7, pp. 11-17.

УДК 621.762

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА РАЗМОЛЬНЫХ СРЕД ПРИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ШИХТЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ AL-SI-C

Дюжечкин М.К., Сергеенко С.Н.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Аннотация. В работе исследовано влияние состава жидких размольных сред и приведенной энергии горячей штамповки порошковых заготовок на формирование структуры и свойств горячедеформированных материалов системы Al-Si-C на основе механохимически активированных шихт. Установлено формирование в процессе механохимической активации шихты алюминий-кремний-графит твердого раствора Al_3Si в неравновесном