

УДК 621.785.5

## ВЛИЯНИЕ АКТИВАТОРА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МИКРООБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ КЛАССОВ

**Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск*

**М. Н. КАРПЕЦ**

*ОАО «Беларуськалий», г. Солигорск*

*Одним из способов повышения надежности и долговечности деталей машин, инструмента и технологической оснастки является химико-термическая обработка. Для упрочнения стальных деталей различного назначения широкое распространение получило термодиффузионное легирование бором. При борировании в порошковых средах для увеличения интенсивности процесса рекомендуется применять специальные химические соединения, называемые активаторами. Активаторы интенсифицируют процесс химико-термической обработки, однако их избыток ухудшает качество поверхности изделия.*

*В статье рассмотрено влияние различного количества активатора на интенсивность диффузионного легирования бором микрообъектов, в частности изделий с сечением в форме круга (проволок) различных структурных классов.*

**Ключевые слова:** химико-термическая обработка, диффузионное легирование, борирование, поверхностное упрочнение, активатор.

## INFLUENCE OF ACTIVATOR ON INTENSITY OF CHEMICAL-THERMAL TREATMENT OF MICROOBJECTS OF VARIOUS STRUCTURAL CLASSES

**F. I. PANTELEENKO**

*Belarusian National Technical University, Minsk*

**M. N. KARPETS**

*JSC "Belaruskali", Soligorsk*

*One of the ways to increase the reliability and durability of machine parts, tools and technological equipment is chemical-thermal treatment. To strengthen steel parts for various purposes, thermosdiffusion alloying with boron has become widespread. When borating in powder media to increase the intensity of the process, it is recommended to use special chemical compounds called activators. Activators intensify the chemical-thermal treatment process, however, their excess degrades the quality of the surface of the product.*

*The article considers influence of different amount of activator on intensity of diffusion alloying with boron of microobjects, in particular, articles with cross section in the form of circle (wires) of different structural classes.*

**Keywords:** chemical-thermal treatment, diffusion alloying, borating, surface hardening, activator.

### **Введение**

Химико-термическая обработка (ХТО) является одним из наиболее эффективных и широко применяемых в промышленности методов повышения надежности и долговечности ответственных деталей машин, инструмента и технологической оснастки

за счет получения требуемых эксплуатационных свойств поверхностных слоев (повышенной твердости, износостойкости, коррозионной и эрозионной стойкости и др.). Процесс массопереноса (насыщения) при ХТО условно может быть представлен в виде пяти последовательно реализующихся стадий: I – реакция в насыщающей среде (образование осуществляющего массоперенос диффундирующего вещества); II – диффузия в насыщающей среде (подвод насыщающего вещества к насыщаемому объекту); III – процессы и реакции на границе раздела фаз (на насыщаемой поверхности); IV – диффузия в насыщаемом объекте; V – реакции в насыщаемом объекте (образование диффузионного слоя) [1]. Существуют и другие системы деления процесса насыщения при ХТО на элементарные стадии, например, только на три основных процесса: образование насыщаемых атомов на обрабатываемой поверхности, адсорбция поверхностью обрабатываемого изделия образовавшихся атомов насыщаемого вещества, диффузия с образованием диффузионного слоя [1], [2].

На сегодняшний день для упрочнения стальных деталей различного назначения широкое распространение получило термодиффузионное легирование бором (борирование) [3]. При борировании в порошковых средах для увеличения интенсивности процесса рекомендуется применять активаторы [4]. Активаторы – соединения, которые легко разлагаются при нагреве и участвуют в химических реакциях I стадии ХТО, образуя с насыщающими элементами газообразные соединения, которые затем диффундируют в газовой среде к поверхности изделия (II стадия ХТО). На насыщаемой поверхности в результате химических реакций эти соединения выделяют насыщающий элемент в свободном атомарном состоянии (III стадия ХТО) [1]. Активаторы интенсифицируют процесс ХТО, однако их избыток ухудшает качество поверхности изделия.

В настоящее время недостаточно полно изучено влияние активатора на процесс ХТО микрообъектов, применяемых для нанесения последующих покрытий.

Целью данной работы является исследование влияния активатора на процесс диффузионного легирования бором микрообъектов различных структурных классов для нанесения последующих покрытий.

### Основная часть

Для проведения исследований были выбраны микрообъекты формы круг (провода) структурных классов следующих марок: Св-08А Ø 3,0 мм (феррито-перлитный класс), Св-08Г2С Ø 1,6 мм (феррито-перлитный класс), 95Х18 Ø 1,6 мм (мартенситный класс), ER2209 Ø 1,2 мм (аустенито-ферритный класс), ER316LSi Ø 1,2 мм и ER 347 Ø 1,2 мм (аустенитный класс). Химический состав проволок приведен в таблице.

### Химический состав применяемых проволок [5]–[7]

| Марка проволоки | Массовая доля химических элементов, % |      |        |           |          |        |        |       |        |     |
|-----------------|---------------------------------------|------|--------|-----------|----------|--------|--------|-------|--------|-----|
|                 | Mn                                    | Mo   | Cu     | C         | Si       | Ni     | Cr     | Ti    | Al     | Nb  |
| Св-08А          | 0,35–0,6                              | –    | –      | < 0,1     | < 0,03   | < 0,25 | < 0,12 | –     | < 0,01 | –   |
| Св-08Г2С        | 1,8–2,1                               | –    | –      | 0,05–0,11 | 0,7–0,95 | < 0,25 | < 0,2  | –     | –      | –   |
| ER347           | 1,7                                   | 0,1  | 0,1    | 0,04      | 0,7      | 9,8    | 19     | –     | –      | 0,6 |
| ER316LSi        | 1,80                                  | 2,60 | 0,12   | 0,01      | 0,9      | 12,2   | 18,4   | –     | –      | –   |
| ER2209          | 1,70                                  | 3,30 | < 0,30 | < 0,025   | 0,50     | 8,50   | 22,5   | –     | –      |     |
| 95Х18           | < 0,8                                 | –    | < 0,3  | 0,9–1,0   | < 0,8    | < 0,6  | 17–19  | < 0,2 | –      |     |

Как известно, для ускорения интенсивности диффузионного насыщения рекомендуется применять галогенсодержащие активаторы в количестве не более 1,5 % [4]. При проведении исследований диффузионное легирование выполнялось в три отдельных этапа: этап первый – без активатора; этап второй – с активатором в количестве 1 %; этап третий – с активатором в количестве 2 %. В качестве активатора применялся фтористый алюминий ( $AlF_3$ ). Каждую марку проволоки подвергали диффузионному легированию бором (борированию) в контейнере с герметизирующим плавким затвором. В качестве насыщающей среды применялся технический карбид бора ( $B_4C$ ). Диффузионное легирование выполнялось при различных температурно-временных режимах в камерной электрической печи Termoskale KG360/1100S. После борирования металлографическим способом выполнялось измерение толщины боридного слоя для всех исследуемых образцов.

### Металлографические исследования

Металлографические исследования на предмет толщины боридного слоя выполнялись с применением микроскопа МИ-1 и микроскопа «Альтами МЕТ П». Для получения и анализа изображений использовали программное обеспечение «SIAMS 800» и Altami Studio.

По результатам металлографических исследований было определено, что интенсивность борирования зависит от количества активатора, химического состава проволоки, температуры и времени диффузионного насыщения. При этом применение активатора в количестве 1 % по сравнению с его отсутствием, ускоряет процесс диффузии для всех исследуемых проволок (рис. 1 и 2).

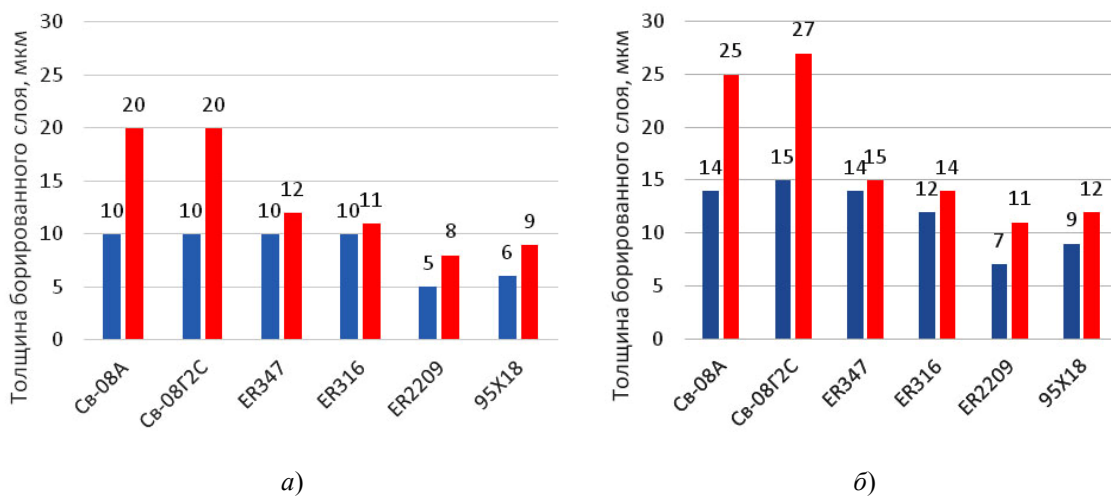


Рис. 1. Влияние активатора  $AlF_3$  в количестве 1 % на толщину боридного слоя при температуре диффузионного борирования 900 °С:  
 а – время выдержки 30 мин; б – время выдержки 60 мин:  
 ■ – без активатора; ■ – с активатором 1 %

Наибольшее влияние активатора  $AlF_3$  в количестве 1 % на интенсивность диффузионного борирования характерно для низкоуглеродистой и низколегированной проволок Cв-08А, Cв-08Г2С (феррито-перлитный класс). При этом с увеличением температуры с 900 до 950 °С и увеличением времени выдержки при температуре 950 °С действие активатора для этих проволок усиливается. Для всех высоколегированных проволок применение 1 % активатора  $AlF_3$  оказало значительно меньшее влияние на увеличение толщины боридного слоя по сравнению с низкоуглеродистой и низколегированной проволоками. Для аустенитных проволок ER316LSi, ER347

влияние 1 % активатора  $AlF_3$  на интенсивность диффузионного борирования наименее выражено. Среди высоколегированных проволок наибольшее влияние 1 % активатора  $AlF_3$  на интенсивность диффузионного борирования характерно для проволоки ER2209 (аустенитно-ферритный класс). В то же время для проволок ER316LSi, ER2209 влияние активатора на интенсивность диффузионного борирования более ярко выражено с увеличением температуры с 900 до 950 °С.

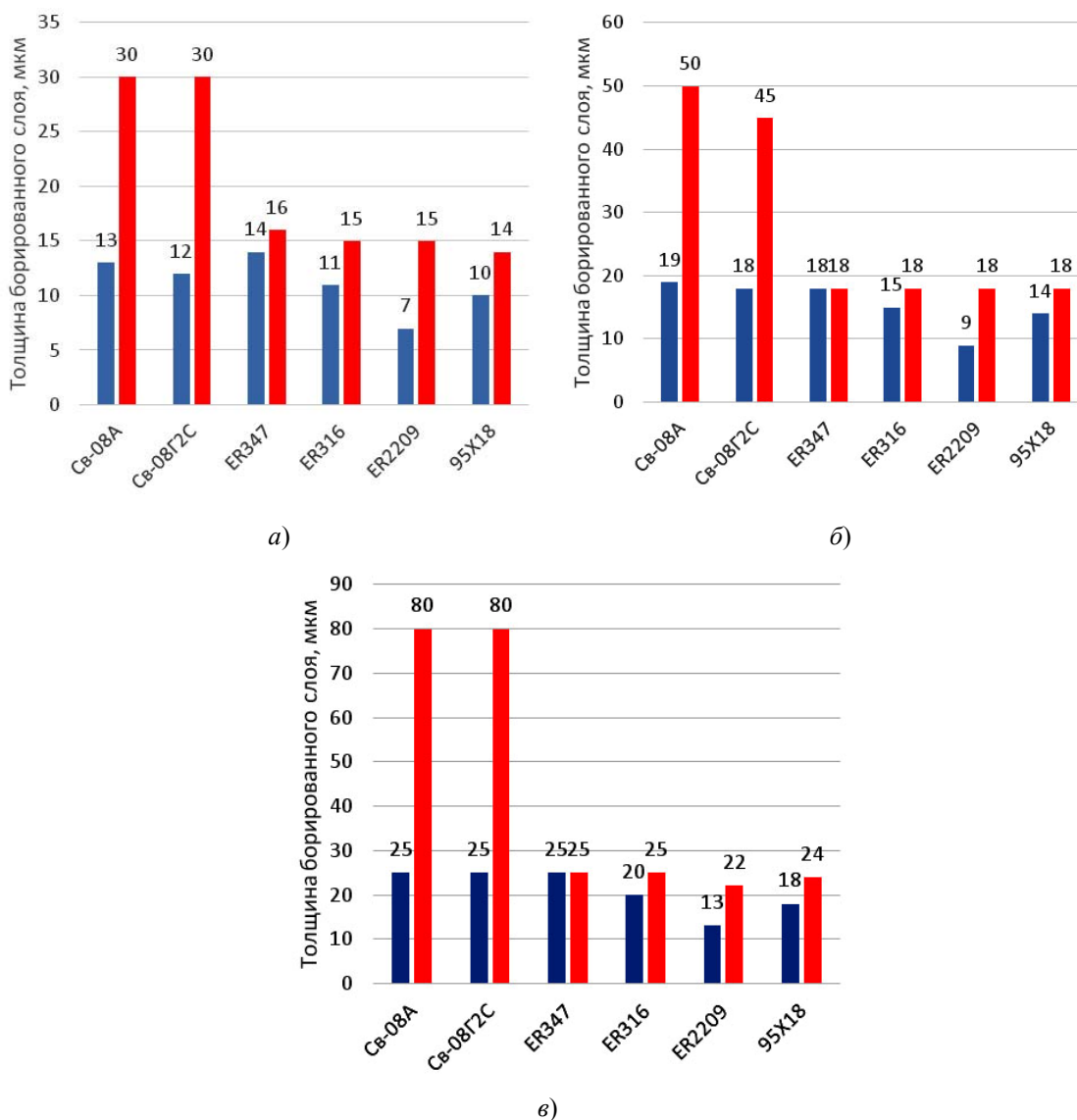


Рис. 2. Влияние активатора  $AlF_3$  в количестве 1 % на толщину боридного слоя при температуре диффузионного борирования 950 °С:  
 а – время выдержки 30 мин; б – время выдержки 60 мин;  
 в – время выдержки 120 мин: ■ – без активатора; ■ – с активатором 1 %

Увеличение количества активатора с 1 до 2 % позволило ускорить интенсивность диффузионного насыщения только для проволоки марки Cв-08A (увеличение толщины боридного слоя на 31 %) и проволоки марки Cв-08Г2С (увеличение толщины боридного слоя на 26 %). На интенсивность диффузионного борирования проволоки марок 95X18, ER347, ER2209, ER316LSi увеличение количества активатора с 1 до 2 % не оказало существенного влияния (рис. 3).

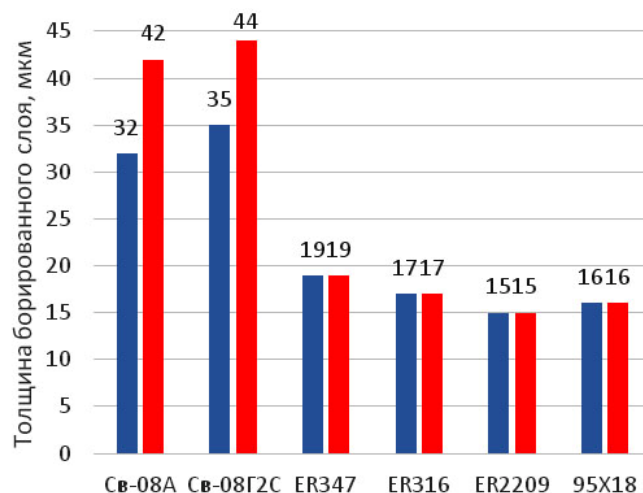


Рис. 3. Влияние активатора  $AlF_3$  в количестве 2 % на толщину боридного слоя при температуре диффузионного борирования  $900\text{ }^\circ\text{C}$  и времени выдержки 120 мин:  
 ■ – с активатором 1 %; ■ – с активатором 2 %

### Заключение

По результатам проведенных исследований можно установить, что интенсивность диффузионного борирования микрообъекта в форме круга зависит от количества активатора, химического состава проволоки, температуры и времени диффузионного насыщения. При этом применение активатора  $AlF_3$  в количестве 1 % по сравнению с его отсутствием в разной степени ускоряет процесс диффузии для всех исследуемых проволок. Для проволок феррито-перлитного класса (Св-08А, Св-08Г2С) влияние применения активатора на интенсивность борирования выражено в большей степени. Для высоколегированных проволок мартенситного (95X18), аустенито-ферритного (ER2209) и аустенитного (ER316LSi, ER347) классов влияние применения активатора на интенсивность борирования выражено в меньшей степени, чем для проволок феррито-перлитного класса, что скорее всего связано с высоким содержанием в составе высоколегированных проволок химических элементов (хром, молибден, ниобий и углерод), затрудняющих процесс борирования [8].

Увеличение количества активатора с 1 до 2 % позволило ускорить интенсивность диффузионного насыщения только для проволоки марки Св-08А (увеличение толщины боридного слоя на 31%) и проволоки марки Св-08Г2С (увеличение толщины боридного слоя на 26 %). На интенсивность диффузионного борирования высоколегированных проволок марок 95X18, ER347, ER2209, ER316LSi увеличение количества активатора с 1 до 2 % не оказало существенного влияния.

### Литература

1. Ворошнин, Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки : учеб. пособие / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Сметкин. – М. : Новое знание ; Минск : Новое знание, 2010. – 304 с. : ил. – (Техническое образование).
2. Крукович, М. Г. Пластичность борированных слоев / М. Г. Крукович, Б. А. Прусак, И. Г. Сизов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010 – 384 с.
3. Константинов, В. М. Применение борирования в порошковой среде для упрочнения стальных деталей различного назначения / В. М. Константинов, В. Г. Дашкевич, А. В. Ковальчук // Современные методы и технологии создания и обработки

- материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. Кн. 1. Материаловедение. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2015. – С. 33–38.
4. Пантелеенко, Ф. И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них / Ф. И. Пантелеенко. – Минск : Технопринт, 2001. – 300 с.
  5. Проволока стальная сварочная. Технические условия : ГОСТ 2246–70. – М. : Изд-во стандартов, 1970. – 17 с.
  6. Компания ESAB // Продукция и решения. – 2021. – Режим доступа: <https://www.esab.ru/ru/ru/products/filler-metals/mig-mag-wires-gmaw/stainless-steel-wires/ok-autrod-316lsi.cfm>. – Дата доступа: 14.09.2021.
  7. Центральный металлический портал РФ // Марки стали и сплавы. Сталь марки 95X18. – Режим доступа: [https://metallicheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/stn/95X18](https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stn/95X18). – Дата доступа: 14.09.2021.
  8. Ворошин, Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов / Л. Г. Ворошин. – Минск : Беларусь, 1981. – 205 с.

*Получено 20.12.2021 г.*