

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА, ПОЛУЧЕННЫХ СВС-СИНТЕЗОМ

А.Т. Евтушенко, В.Д. Гончаров, Н.А. Степаненко

В настоящее время отдельные заводы испытывают трудности в приобретении инструментальных сталей и сплавов из-за высокой их стоимости. В связи с этим актуальным является изыскание способов получения таких сталей на своих предприятиях методами, не требующими больших денежных вложений, используя новые технологии, позволяющие кроме того утилизацию отходов промышленного производства.

Ключевые слова: шихта – состав, смеси порошков; СВС – синтез, самораспространяющийся высокотемпературный синтез; фронт горения – легирующие элементы – элементы, химические системы Менделеева добавленные в шихту; износ резца – истирание поверхности резца; скорость резания – время, за которое снималась структура с детали.

На машиностроительных мероприятиях в результате различных технологических операций образуется большое количество неиспользованных отходов в виде стружки, отходов литейного и кузнечного производства, содержащих оксиды железа и легирующие элементы. Эти отходы на большинстве предприятий не используются, а иногда являются источниками загрязнения окружающей среды. Применение передовых технологий позволяет извлекать из отходов полезные вещества и использовать в дальнейшем производстве, тем самым получает экономическую и экологическую выгоду.

Процессом, обладающим значительным потенциалом является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). В результате СВС возможно восстановление железа из окислов с последующим его использованием. В основе этой технологии лежат реакции экзотермического взаимодействия нескольких химических элементов, протекающих в режиме направленного горения.

Во многих случаях продукт горения содержит меньше примесей, чем исходная смесь, т.к. примеси выгорают из-за высокой температуры (1500-4000°C и большой скорости распространения фронта горения СВС-синтеза).

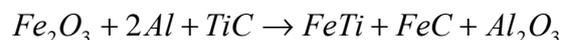
СВС не требует использования плавильных печей и дорогостоящего оборудования. Достаточно только теплоты химической реакции. В наших исследованиях теплоту химической реакции получили за счет термита состоящего из Al оксида железа (Fe_2O_3) и порошка алюминия. Путем математического расчета и эксперимента соотношение компонентов выстраивалось в пропорцию 80% Fe_2O_3 и 20% Al [1]. В качестве реакторов при-

менялись металлические и кварцевые трубки различных размеров по диаметру.

Проведение СВС-синтеза в лабораторных условиях включает сушку компонентов, дозирование, смешивание, засыпку в реактор, горение, разборку форм, извлечение слитка.

В лабораторных условиях был проведён эксперимент по получению инструментальной стали методом СВС в шихте смеси из порошков окиси железа Fe_2O_3 –(X1), алюминия Al - (X2) и карбида титана TiC - (X3)

Химическая реакция определяется уравнением



Длительность процесса получения легированного сплава железа в режиме термосинтеза составляет 10-12,0 сек (в зависимости от массы шихты).

Определенное количество железной окиси является оптимальным, т.к. происходит полное расплавление окиси. Реакция идёт бурно, с достаточной температурой и количеством тепла, чтобы вступил в реакцию карбид титана.

Количество карбида титана 15-20 мас. % термитной смеси является оптимальным. Повышается скорость и температура горения, увеличивается количество тепла, получается компактный металлический слиток с различным содержанием углерода и твердости 56-60 HRC. При меньшем содержании реакция идёт без увеличения температуры, скорости горения и количества тепла, при более высоком содержании карбида титана реакция горения не идёт (таблица 2,3) [2].

Применение высокоинформативных средств диагностики даёт исследователям

возможность перевода неуправляемые или слабоуправляемых термохимических реакций в разряд управляемых.

Для проведения эксперимента исходная шихта (смесь Fe_2O_3 , Al и TiC) помещалась в стальную оснастку, имеющую прямоугольное отверстие для установки в нём держателей кварцевого стекла, через которое регистрируется температура по яркости свечения поверхности шихты, либо исходную шихту помещают в кварцевый стакан.

По результатам экспериментов и характеру расположения точек построены зависимости твёрдости сплава (в HRC) и скорости распространения фронта горения (в м/с) от количественного содержания карбида титана в шихте (в масс. % термита).

С увеличением содержания карбида титана в шихте твёрдость сплава увеличивается, а скорость фронта горения уменьшается по нелинейному закону, причем изменение характера зависимостей происходит практически при одном и том же значении массы карбида титана в шихте (8-10 масс. % термита). Повышение твёрдости сплава, видимо, связано с повышением концентрации углерода до эквивалентного уровня (рисунок 1).

Таблица 1 - Значения твёрдости сплава, скорости распространения и максимальной температуры фронта горения для количественного содержания карбида титана в шихте

X (масс., %)	Y (HRC)	V (м/с)	T ⁰ С
0	10	0,15	1580
5	15	0,12	1290
10	48	0,11	1265
20	60	0,07	1170

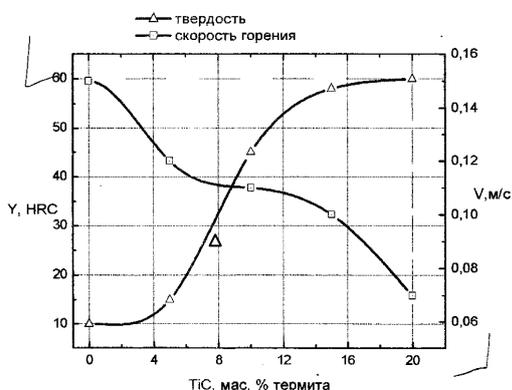


Рисунок 1 - Зависимость твёрдости сплава стали Y и скорости фронта горения V от массы карбида титана

Из полученных термограмм видно, что температура в процессе взаимодействия имеет явно нестационарный характер, периоды роста сменяются периодами стабилизации и даже снижения, так как реакционная ячейка проходит ряд превращений. Экзотермические участки сменяют участки с эндотермическим распадом (рис.2).

Максимальная температура слабо зависит от начальной температуры и состава. СВС - инструментальная сталь на основе карбида титана имеет одновременно свойства химического соединения и твёрдого раствора, которые определяются режимами горения, характером и энергией связи, а также особенностями кристаллической решетки и структуры, причём твёрдые растворы могут быть как растворами внедрения, так и растворами замещения [3].

Введение легирующих элементов оказывает неоднозначное влияние на прочность, пластичность, жаростойкость и износостойкость (твёрдость) инструментальных сталей, выявлено, что все легирующие элементы или растворяются в железе, образуя интерметаллиды, или выгорают (при температуре их плавления, значительно меньшей температуры фронта горения).

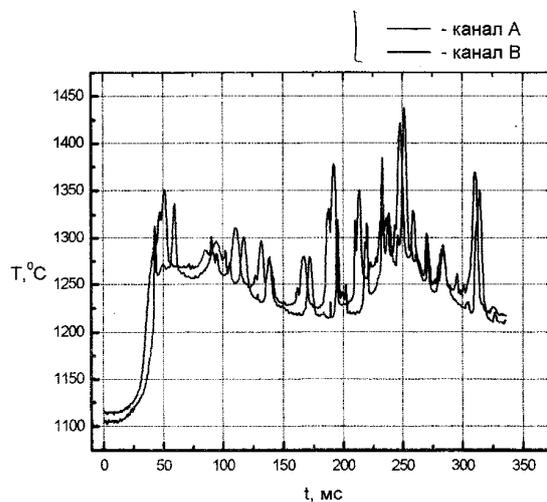


Рисунок 2 - Термограммы реакции СВ - синтеза инструментальной стали в двух точках (расстояние между каналами на поверхности шихты - 0,015 мм)

TiC - карбид титана в СВС - процессе распадается на Ti и активный углерод, который в соединении с железом образует сталь, причем содержание углерода в стали пропорционально количеству TiC [4].

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА,
ПОЛУЧЕННЫХ СВС-СИНТЕЗОМ**

Таблица 2 - Зависимость содержания углерода от количества термита

TiC, % термита*	5	10	15	20
C, %	0,3	0,5	0,6	0,7

* - Термитная смесь (термит) - Fe₂O₃ (80%) - Al (20%).

Таблица 3 - Твёрдость (HRC) СВС- сплава системы Fe₂O₃ - Al - TiC в зависимости от температуры отпуска*

TiC Масс., % термита	Режим термической обработки T ^o C		
	Закалка**	Отпуск до 550	Отпуск до 750
10	48	10	—
15	56	25	12
20	60	36	14

* - Оксид железа Fe₂O₃ - 80 мас.% и алюминий Al - 20 мас.% образуют термитную смесь (термит).

** - Закалка не производилась после окончания СВС - процесса.

Имея ряд общих черт с технологическими процессами традиционной порошковой металлургии СВ – синтез характеризуется такой уникальной особенностью, как существование высокотемпературной твёрдо – жидкой среды в течении протекания процесса синтеза.

Если для синтеза продуктов сгорания традиционным печным методом требуются часы, то волна горения протекает за считанные секунды. При этом не требуется ни больших электро - энергетических затрат, ни очень дорогостоящих электропечей и другого металлургического оборудования. СВС – процесс характеризуется высокой температурой и протекает с большой скоростью распространения фронта горения (0,5 - 15·10⁻² м/с) и, что очень важно, новый продукт синтеза более чистый, практически без примесей, т.к. они “выгорают” в волне горения (рисунок 3).

Решая вышепоставленную задачу, наши исследования были направлены на то, чтобы путём СВС – процесса окисла железа из окалина, (которая является отходами в кузнечно–штамповом производстве машиностроительных заводов) с соответствующими добавками получать в литом виде инструментальную сталь.



Рисунок 3 - Распространение волны горения. Зона белого цвета – волна горения

В наших экспериментах в качестве окисла металла использовалась окалина легированной стали 18Х2Н4МА в виде порошка фракции до 160 мкм из окислов железа Fe₂O₃, Fe₂O₄, FeO. Реагентами шихты были порошки окалина алюминия, карбида, титана, а также легирующих элементов Cr, Mo, CrB₂, TiB₂. Эксперименты и математический расчет показали, что оптимальным составом шихты для получения реакции СВ – синтеза является соотношение 80% Fe₂O₃+20% Al. После завершения реакции синтеза получается новый продукт – слиток железа. В результате введения в эту шихту карбида титана (TiC) в сплаве появляется свободный углерод. Углерод появляется вследствие распада TiC в волне горения при СВ – синтезе, а также при плавке происходит частичное растворение легирующих элементов в металлической основе.

Увеличение в шихте карбида титана от 10% до 20% массы, показывает изменение содержания углерода в сплаве от 04% до 07%. В результате высокой скорости охлаждения сплава в процессе СВ – синтеза происходит самозакалка и из жидкого состояния образуется структура мартенсита.

Химический состав сплавов (сталей) показывает, что в процессе СВС легирующие элементы выгорают, но во время реакции оказывают определенную роль в интенсивности протекания синтеза и структурообразовании конечного продукта.

Введение в шихту сормайта до 20% массы (сормайт – это легированный чугуи, содержащий углерода – С 4,0 – 5,7%) и хрома Cr до 36%, даёт более интенсивное горение по сравнению с карбидом титана.

После СВС – процесса в сплаве остается 0,5 – 0,7% углерода и хрома 1,3 – 2,0%. Твердость матрицы 60HRC, а твердость оставшихся карбидов 1159HV – 1513HV.

Добавление в шихту до 5% TiC (15% сормайт + 5% TiC) дает увеличение твердости стали после СВС процесса до 62 HRC, это объясняется более повышенным содержанием углерода до 0,7% [5,6,7].

Наша задача заключена в определении режущих свойств резцов, при сухом точении, изготовленных методом СВ-Синтеза.

В лабораторных условиях были получены слитки сталей, изготовленные из разных составов шихты.

Из этих слитков нарезались заготовки для резцов размером 6×6×50 мм. Затем затачивались резцы с заданной геометрией задний угол $\alpha=8^\circ$, передний угол $\beta=3^\circ$, главный угол в плане $\gamma=90^\circ$, вспомогательный угол в плане $\gamma_1=10^\circ$. Этот резец вставляется в державку 16×25×140 мм. И закрепляется в резцедержателе токарного станка.

Резец. №1 Твердость HRC=60.

Химический состав: шихта (80% Fe₂+20%Al+20% сормайта).

После процесса СВС: 0,7% - С (углерод) основа; 1,3% - Cr (хром); 1,6% - Si (кремний); 0,4% - Ti (титан); остальное Fe.

Резец. №2 Твердость HRC=62. Химический состав: шихта (80% Fe₂O₃+20% Al+10% TiC+5% Mo+5% CrB₂).

После процесса СВС: 1,5 – С (углерода); 1,5 – Мо (молибдена); 0,4 – Ti (титан); 0,1 – CrB₂ (борит хрома); 86,5% - Fe (железо).

Резец. №3 Твердость HRC=58. Химический состав: шихта (80% Fe₂O₃+20% Al+15% TiC).

После процесса СВС: 0,6 – С (углерода); 0,4% - Ti (титана); 99% - Fe (железо).

Резец. №4 P6M5 (эталон). Твердость HRC=63. Химический состав: 0,85% - С (углерод); 4% - Cr (хром); 6% - W (вольфрам); 2% - V (ванадий); 0,5% - Co (кобальт); 5% - Mo (молибден); остальное Fe.

Эксперимент №1. Обрабатываемый материал Сталь 40X – вал твердостью HRC=32. Dв = 45мм – диаметр обработки вала; lв = 120 мм – длина обработки общая; t = 0,10 мм – глубина резания; S = 0,08 мм/об – подача. Скорость резания V = 19,6 м/мин

Износ резца Δмм измеряется по расстоянию вершины резца от базовой метки на передней поверхности. Измерения проводились после каждых 65 метров пути пройденных резцом. С целью ускорения определения экспериментальных исследований точение образцов проводилось в сухую, без применения СОЖ.

Результаты исследований приведены на графике рисунка 4.

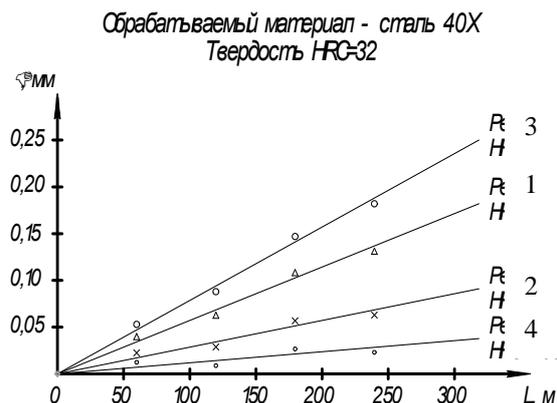


Рисунок 4 - Зависимость величины износа резца от пути резания, пройденного резцом при скорости резания V= 19 м/мин, обрабатываемый образец сталь 40X, твердостью HRC=32.

Эксперимент №2. Следующая серия экспериментов проводилась при сухом точении образца из стали 3, твердостью HRC= 20, при скорости V= 55 м/мин.

Результаты исследований на графике рисунка 5.

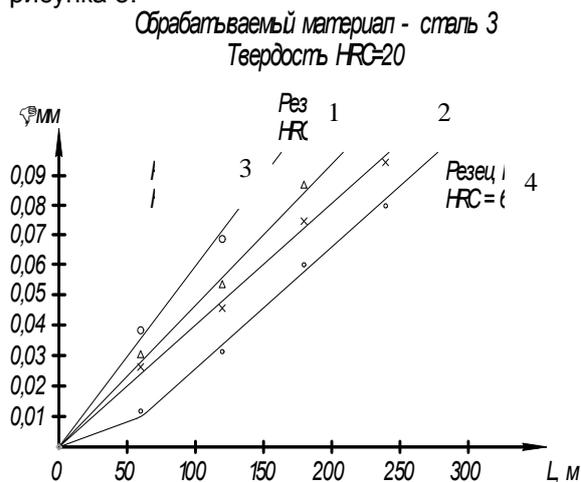


Рисунок 5 - Зависимость износа от пути резца при скорости резания V = 55 м/мин, обрабатываемый образец сталь 3

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА, ПОЛУЧЕННЫХ СВС-СИНТЕЗОМ

При обработке материала сталь 3 со скоростью резания $V = 37$ м/мин износ всех испытуемых резцов до 200 метров не наблюдался. Начало износа резцов фиксировалось после 300 метров пути пробега.

Эксперимент №3. Обрабатываемый материал – сталь 45. Деталь - вал твёрдостью HRC = 30. $D_{в} = 48$ мм – диаметр обработки вала; $l_{в} = 150$ мм – длина обработки; $t = 0,2$ мм – глубина резания; $S = 0,08$ мм/об – подача на оборот; $n = 140$ об/мин – число оборотов шпинделя.

Скорость резания: $V = 21$ м/мин

Износ резца Δ мм измеряется по расстоянию вершины резца от базовой метки на передней поверхности. Измерения проводились после каждых 300 метров пути, пройденных резцом, т.е. каждый проход. С целью ускорения определения экспериментальных исследований точение образцов проводилось в сухую без применения СОЖ.

Экспериментальные резцы, полученные по технологии СВС представлены на рисунке 7.

Результаты исследований приведены на графике рисунка 6.

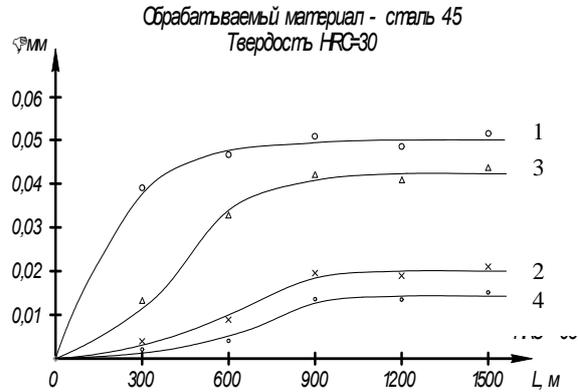


Рисунок 6 - Зависимость величины износа резца от пути резания, пройденного резцом при скорости резания $V = 21$ м/мин, обрабатываемый образец вал из стали 45 и твёрдостью HRC = 30.



а)



б)

Рисунок 7 - Экспериментальные резцы из карбидостали, полученные по технологии СВС: а - резцы и державка; б - резец в державке и образец с нарезанной резьбой

Выводы

1. В результате экспериментальных исследований установлено, что интенсивность износа резцов из сталей, получаемых СВ-синтезом несколько выше, чем стали Р6М5, особенно при точении стали твердостью HRC 32 и при скорости резания более 55 м/мин, что соответствует распределению твердости и теплостойкости резцов.

2. При скоростях резания 35 м/мин и менее при обработке нелегированных сталей износ экспериментальных резцов сопоставим с износом резцов из быстрорежущей стали Р6М5.

3. Лезвийный режущий инструмент из сталей, получаемых процессом СВС можно рекомендовать в замен более дорогостоящих быстрорежущих сталей Р18, Р6М5, на технологических операциях обработки сырых сталей, где скорость резания рекомендуется менее 35 м/мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евтушенко, А.Т. Определение компонентного состава шихты в самораспространяющемся высокотемпературном синтезе интерметаллических соединений / А.Т. Евтушенко, О.А. Лебедева, С.С. Торбунов; - *Металловедение и термическая*

обработка металлов.-2005.-№6.-С.30-32.

2. Евтушенко А.Т. Способ получения легированного сплава железа из отходов производства/ А.Т. Евтушенко, О.А. Лебедева, С.С. Торбунов; Патент №226415.

3. Гумиров, А.М. Пирометрия СВС-синтеза инструментальной стали/ А.М. Гумиров, А.Т. Евтушенко, С.С. Торбунов, Д.Х. Абед / *Ползуновский вестник.*-2005.-№4, ч.1.-С.110-113.

4. Евтушенко, А.Т. Способ получения легированного сплава железа из отходов производства/ А.Т. Евтушенко, С.С. Торбунов. - Патент №2277456.141.2006.-№16.

5. Евтушенко, А.Т.Способ получения легированного сплава железа из отходов производства/ А.Т. Евтушенко, С.С. Торбунов.- Патент №2004130785 от 10.06.2006.

6. Евтушенко, А.Т. Способ получения легированного сплава железа из отходов производства/ А.Т. Евтушенко, С.С. Торбунов.- Патент №2295424. БИ, 2007.-№17.

7. Евтушенко, А.Т. Способ получения легированного сплава железа из отходов производства// А.Т. Евтушенко, С.С. Торбунов.- Патент №2404022 от 31.08.2009.

Евтушенко А.Т., к.т.н., проф., каф. МТ и О АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. 8(3852) 29-07-39;

Гончаров В.Д., к. т. н., проф., каф. ОТМ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. 8(3852) 29-09-23;

Степаненко Н.А., к. т.н., доц., каф. МТ и О АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. 8(3852) 29-07-39.