

## **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ, МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ БОРОМ ПРИ ЭШП ОТХОДОВ ИНСТРУМЕНТА**

**В.Н. Шабалин**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

*В статье рассмотрены вопросы микролегирования быстрорежущих сталей при ЭШП отходов инструмента. Проведены исследования структуры быстрорежущих сталей нормальной производительности марок Р6М5 и Р18 с присадкой бора, полученных при ЭШП отходов инструмента. Исследован фазовый состав, содержание карбидной фазы, механические свойства, теплостойкость и режущая способность быстрорежущих борсодержащих сталей.*

*Определена оптимальная присадка бора в быстрорежущую вольфрамомолибденовую сталь Р6М5 и вольфрамистую сталь Р18, позволяющая максимально увеличить их теплостойкость и режущие свойства. Для реализации максимальной стойкости режущего инструмента рекомендовано использовать при его изготовлении литую электрошлаковую быстрорежущую сталь Р6М5 и Р18 с присадкой 0,13...0,16 % бора, полученную при ЭШП или ЭШЛ.*

**Ключевые слова:** электрошлаковый переплав (ЭШП), отходы инструмента, микролегирование бором, структура и свойства, борсодержащая быстрорежущая сталь ЭШП (ЭШЛ).

## **STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH SPEED STEEL, MIKROLEGIROVANNOJ BORON WITH ESR WASTE TOOL**

**V.N. Shabalin**

The Altai state technical university of I.I. Polzunov, Barnaul

*In the article are considered questions of microalloying fast-cutting steels in ESR waste tool. Have been conducted researches on the structure of fast-cutting steel capacity production performance brands, high-speed and R18 with additive of bor produced by ESR on tool moves. Has been defined normal phase composition, content of carbide phase, mechanical-properties of experimental, heat resistance and cutting ability of fast-cutting bor containing steels.*

*Has been defined the optimal additive of bor contained and tungsten of molybdenic. Fast-cutting steel and tungsten steel steels allows to maximize their heat-resistance and cutting properties. To realize maximum cutting resistance in the tools when it is recommended to use the manufacture of cast steel fast-cutting High-speed electro slag and R18 with additive 0,13... 0,16% of bor, obtained by ESR or ESL.*

**Keywords:** electroslag remelting (ESR), instrument, bor microalloying, bor, the structure and properties of fast-cutting steel with ESR (ESL).

Электрошлаковый переплав отходов изношенного быстрорежущего инструмента, разработанный на кафедре «Оборудование и технология сварочного производства» АлтГТУ под руководством д.т.н., проф. В.Г. Радченко и внедренный на многих машиностроительных и инструментальных предприятиях РФ и стран СНГ, позволяет рационально использовать отходы инструментальных сталей, сокращает цикл оборачиваемости оборотных средств предприятия, приводит к экономии ресурсов и

разработке новых литейных электрошлаковых технологий [1, 2, 3].

На ряде промышленных предприятий Алтайского края получили развитие новые технологии электрошлакового литья заготовок режущего и штампового инструмента, а также литых электрошлаковых заготовок деталей ответственного назначения [4, 5, 6].

При этом многократно было показано, что свойства литого электрошлакового металла

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ, МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ БОРОМ ПРИ ЭШП ОТХОДОВ ИНСТРУМЕНТА

превышают свойства металла индукционной выплавки и не уступают свойствам проката [7].

В то же время, анализ литературных данных показывает, что существует еще недостаточно работ, посвященных дополнительному улучшению структуры и свойств литого электрошлакового металла за счет его модифицирования и микролегирования в процессе ЭШП и ЭШЛ [8].

При индукционной выплавке металла и электродуговой наплавке, в том числе быстрорежущих сталей, модифицирование и микролегирование достаточно известно, в частности за счет присадки бора [9, 10, 11, 12].

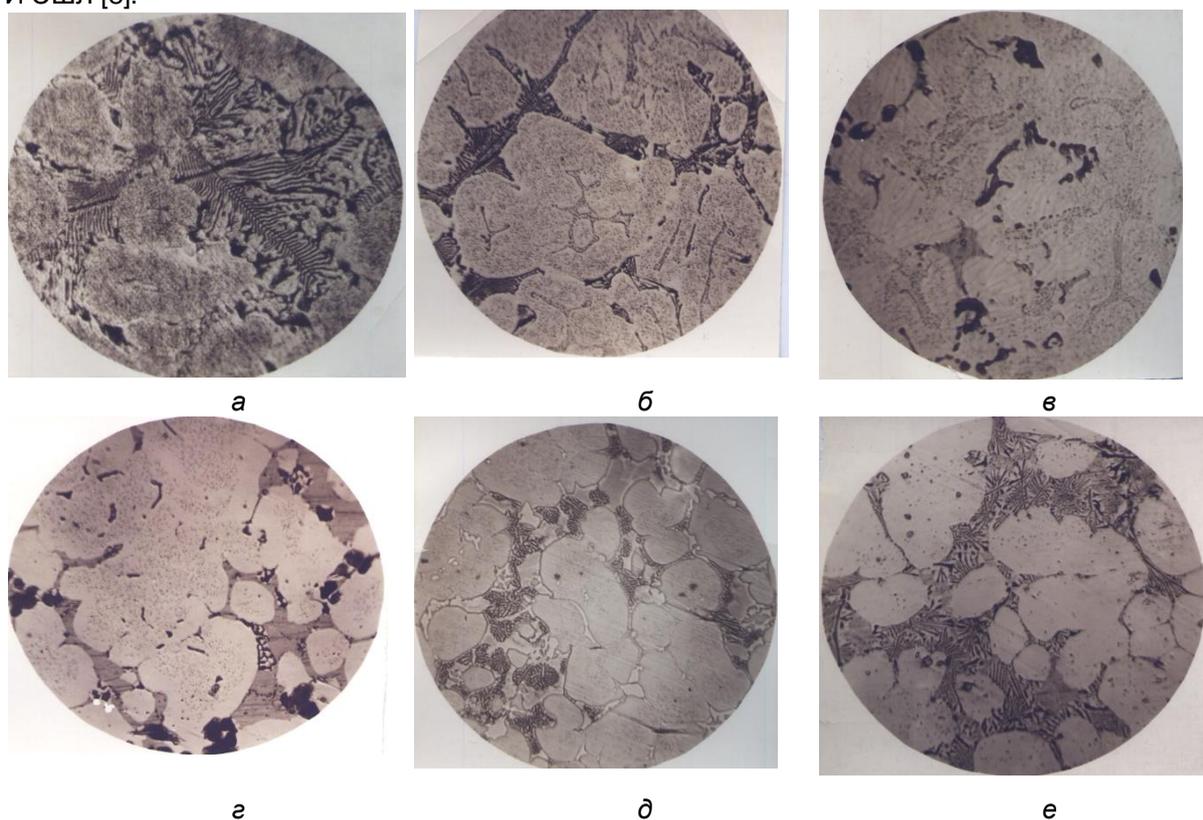


Рисунок 1 – Влияние бора на микроструктуру литой стали Р18 ЭШП (закалка с 1280 °С, отпуск при 560 °С 3 раза по 1 часу):

а) 0,0 % В; б) 0,05 %В; в) 0,10 В; г) 0,15 % В; д) 0,25 В; е) 0,35 % В

Целью настоящей работы является исследование структуры и свойств быстрорежущих сталей Р18 и Р6М5, микролегированных бором, при ЭШП отходов изношенного инструмента. Для получения быстрорежущих сталей Р6М5 и Р18, микролегированных бором, использовали разработанную ранее технологию ЭШП отходов инструмента на установке А-550МУ конструкции ИЭС им. Е.О. Патона. Бор в сталь вводили непосредственно в процессе электрошлаковой плавки за счет ферробора марки ФБ-1, нанесенного в виде покрытия на жидком стекле на переплавляемые электроды из отходов ломаного и изношенного инструмента, в основном из круглых и плоских быстрорежущих протяжек. Выплавленные заготовки ЭШП быстрорежущих сталей Р6М5 и

Р18 диаметром 75/80 мм имели содержание бора от 0,05 % до 0,5 %. Перед резкой заготовки отжигали (в электрической печи) по режиму: нагрев до температуры 950 °С – выдержка 5 часов; охлаждение с печью до 730 °С – выдержка 6 часов; охлаждение с печью со скоростью 30 °/час до температуры 650 °С, а затем охлаждение в печи и на воздухе. Твердость отожженных быстрорежущих борсодержащих сталей Р6М5 и Р18, выплавленных электрошлаковым способом в отожженном виде составляла 280...320 ед. НВ, что не затрудняло механическую обработку. Заготовки ЭШП разрезали на стандартные образцы для испытаний наплавленного металла быстрорежущей стали на изгиб размером (6×6×60 мм) и ударную вязкость (10×10×55 мм), а также на

специальные пластинки размером 9×10×15 мм для исследования структуры, фазового состава, теплостойкости и режущих свойств.

Исследования показали, что закалка от температур, обычно применяемых для кованой быстрорежущей стали, может приводить к оплавлению по границам зерен борсодержащей быстрорежущей стали, причем температура оплавления лежит тем ниже, чем больше бора содержит сталь. При нагреве под закалку стали Р18 с присадкой более 0,25 % бора, начиная с температуры 1270 °С заметно оплавление эвтектики по границам зерен. При увеличении присадки бора до 0,35 % оплавление эвтектики наблюдается при закалке с температуры 1250 °С. На стали Р6М5 оплавление эвтектики заметно при содержании бора 0,35 %. Температура нагрева выше 1220 °С. Микроструктурные исследования закаленно-отпущенных образцов быстрорежущих борсодержащих сталей, выплавленных электрошлаковым способом, показали, что под влиянием бора в быстрорежущей стали происходит изменение как ледебуритной эвтектики, так и зерен легированного твердого раствора.

Специально использованное цветное травление образцов реактивом, состоящим из 10 г  $K_3Fe(CN)_6$ , 10 г КОН на 100 см<sup>3</sup> воды, позволило выявить в микроструктуре составляющую, ответственную за оплавление борсодержащих сталей (см. рисунок 1 а, б, в, г, д, е).

Об изменении в составе фаз свидетельствует также изменение количества остаточного аустенита в борсодержащих сталях после закалки и карбидной фазы после закалки и отпуска, что представлено на рисунке 2.

Проведенный фазовый анализ карбидного осадка, снятого с закаленно-отпущенных образцов на рентгеновской установке ДРОН-2, показал, что кроме основного карбида  $Me_6C$  и боридов  $FeB$  в составе борсодержащей быстрорежущей стали имеется увеличенное содержание карбидов типа  $Cr_{23}C_6$ , обнаруживаемых на рентгенограммах при присадке бора более 0,25 %. Изменение фазового состава и наличие боридов в структуре борсодержащих быстрорежущих сталей Р6М5 и Р18, выплавленных ЭШП, может изменять их теплостойкость и режущие свойства, а также приводит к некоторому росту их твердости как в закаленном, так и в закаленно-отпущенном состоянии, которая достигает значений 64...66 ед. НРСэ.

Результаты испытаний механических свойств борсодержащих быстрорежущих сталей Р6М5 и Р18, выплавленных ЭШП под влиянием присадки бора показали, что прочность

на изгиб и ударная вязкость снижаются (рисунки 3,4).



Рисунок 2 – Влияние бора на количество остаточного аустенита в литой стали Р18 ЭШП (закалка с 1280 °С) и карбидов (закалка с 1280 °С + отпуск при 560 °С 3 раза по 1 часу)

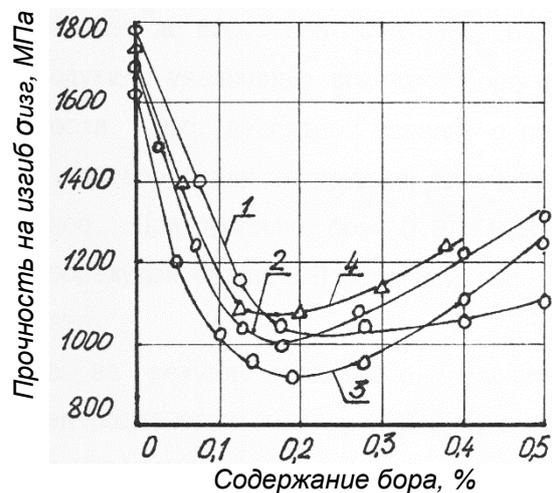


Рисунок 3 – Влияние бора на прочность при изгибе литой стали Р18 и Р6М5 ЭШП: 1, 2, 3 - Р18 (закалка с 1270 °С, 1280 °С, 1290 °С, отпуск при 560 °С 3 раза по 1 часу); 4 – Р6М5 (закалка с 1230 °С, отпуск при 560 °С 3 раза по 1 часу)

Приведенные на рисунках 3,4 данные показали, что стали с оплавленной при закалке эвтектикой (при содержании бора выше 0,25 %) имеют  $\sigma_{изг}$  и КС не ниже, чем образцы без заметного оплавления боридной эвтектики до 0,2 % бора.

На образцах с видимым оплавлением эвтектики по границам зерен (содержание бора выше 0,25 %) наблюдается некоторое возрастание прочности и ударной вязкости, что можно, вероятно, связать с ростом количества остаточного аустенита и снижением структурных напряжений в сталях после закалки и отпуска. Испытания образцов борсодержащих быстрорежущих сталей Р6М5 и Р18 ЭШП на теплостойкость, выполненные по стандартной

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ,  
МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ БОРОМ  
ПРИ ЭШП ОТХОДОВ ИНСТРУМЕНТА

методике д.т.н. проф. Ю.А. Геллера показали, что теплостойкость растет при присадке бора в стали и достигает максимума при присадках бора 0,15...0,24 % для стали Р18 650...655 °С, для стали Р6М5 640...645 °С, в то время как для сталей без бора ее значение соответствует стандартному и равно 620 °С (рисунок 5).

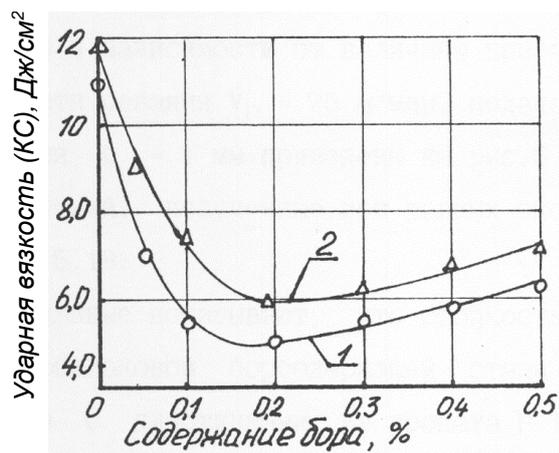


Рисунок 4 – Влияние бора на ударную вязкость сталей Р6М5 и Р18 ЭШП:  
1 – Р18; 2 – Р6М5 (закалка Р18 с 1280 °С, Р6М5 с 1230 °С, отпуск при 560 °С 3 раза по 1 часу)

Последующее увеличение присадки бора (более 0,25 %) приводит к снижению теплостойкости исследуемых сталей. Это, вероятно, связано с отмеченным перераспределением в составе стали легирующих элементов в твердом растворе и карбидах – с более на менее благоприятное. Однако теплостойкость сталей с присадкой бора до 0,35...0,4 % остается выше, чем у сталей без присадки.

Влияние бора на режущие свойства резцов с пластинами из электрошлаковой быстрорежущей стали Р18 исследовали по методике продольного течения стали 20Х в сравнении с резцами из обычного проката, литой и ковальной электрошлаковой стали Р18 без присадки бора. Твердость пластинок резцов после полной термообработки (закалка с 1280 °С + отпуск 560 °С три раза по 1 часу) была одинакова и составляла 64...65 ед. НRCэ. Испытания проводили на модернизированном токарном станке мод. А616П при постоянной скорости резания, равной 75 м/мин, подаче 0,44 мм/об и глубине резания 1 мм.

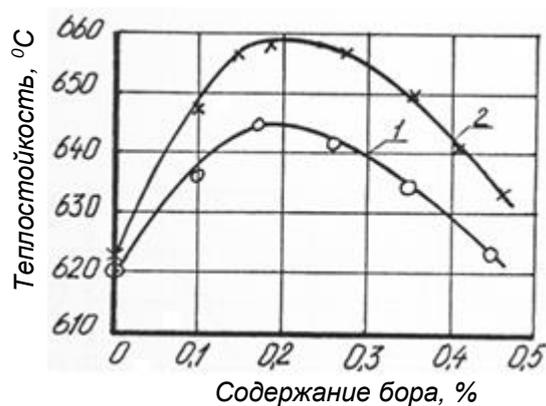


Рисунок 5 – Влияние бора на теплостойкость литых быстрорежущих сталей Р6М5 и Р18 ЭШП: 1 – Р6М5; 2 – Р18 (закалка Р18 с 1280 °С, Р6М5 с 1230 °С, отпуск при 560 °С 3 раза по 1 часу)

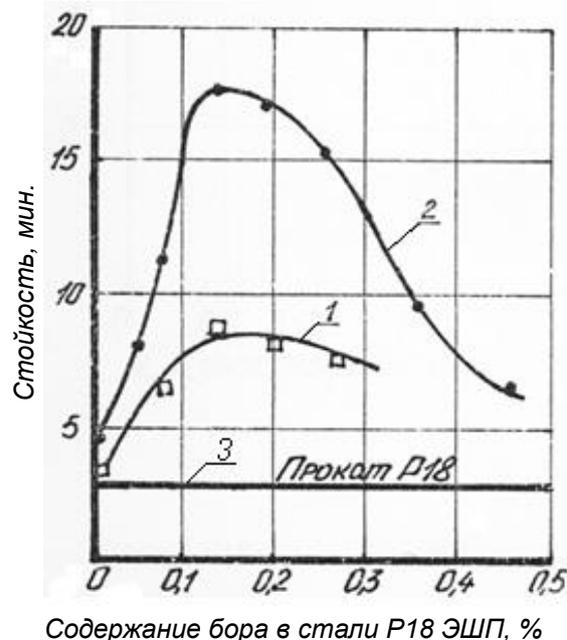


Рисунок 6 – Влияние бора на режущие свойства стали Р18 ЭШП (закалка с 1280 °С, отпуск при 560 °С 3 раза по 1 часу):  
1 – ковкая электрошлаковая борсодержащая сталь Р18; 2 – литая электрошлаковая борсодержащая сталь Р18;  
3- прокат сталь Р18

Результаты испытаний резцов с механическим закреплением в державке пластинок из литой и деформированной электрошлаковой борсодержащей стали Р18 в зависимости от величины присадки бора в сравнении с резцами из проката Р18, а также стали Р18 ЭШП без присадок бора, приведены на рисунке 6.

Полученные данные показывают, что стойкость резцов с пластинками из электрошлаковой борсодержащей стали Р18 с присадкой от 0,13 до 0,16 % бора превышает стойкость резцов с пластинками из проката Р18 в 6...7 раз, а относительно резцов из литой электрошлаковой быстрорежущей стали Р18 без присадки бора в 3,5...3,8 раза. Прокатка электрошлаковых сталей (кривая 1 на рисунке б) ведет к снижению стойкости резцов относительно резцов с пластинками из литой электрошлаковой стали с бором. Однако, в этом случае, стойкость резцов из деформированной быстрорежущей стали Р18 с присадкой 0,15 % бора выше резцов из проката Р18 в 3,0...3,2 раза

### Выводы

1. Введение присадки бора при ЭШП в быстрорежущие стали нормальной производительности марок Р18 и Р6М5 от 0,05 % приводит к изменению структуры и фазового состава сталей.
2. Оптимальная присадка бора 0,13...0,16 % при ЭШП позволяет увеличить теплостойкость режущего инструмента на 20...25 °С для стали Р6М5 и на 30...35 °С стали Р18, относительно инструмента из соответствующего проката.
3. Стойкость резцов из литой электрошлаковой быстрорежущей стали Р18 с присадкой 0,15 % бора превышает стойкость резцов из проката Р18 в 6...7 раз.
4. Для полученных значений стойкости режущего инструмента из литых электрошлаковых сталей Р6М5 и Р18 с оптимальной присадкой бора 0,13...0,16 % нагрев под закалку следует проводить по режимам, принятым в промышленности для инструмента из проката.
5. Литые электрошлаковые быстрорежущие стали Р18 и Р6М5, микролегированные бором в количестве 0,13...0,16 %, целесообразно применять для изготовления режущего инструмента, работающего без больших ударных нагрузок.

### Список литературы

1. Радченко В.Г. Экономическая эффективность электрошлаковой отливки заготовок инструментов/ В.Г. Радченко, В.Н. Шабалин, М.М. Дубашинский // Вопросы конструирования машин, технологии производства в машиностроительной, химической, строительной промышленности и механизации сельского хозяйства: Тезисы

докладов на краевой н.-т. конф. Машиностроительная секция.– Барнаул, 1964.– С.16-20.

2. Радченко В.Г. Эффективность производства электрошлаковых заготовок для инструмента из отходов быстрорежущих сталей/ В.Г. Радченко, В.Н. Шабалин// Технология машиностроения. Строительные материалы и конструкции: Материалы н.-т. конф./ Алт. политех. ин-т. им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 1967.–37-39.
3. Радченко В.Г. Повышение стойкости режущего инструмента с помощью электрошлакового переплава/ В.Г. Радченко, В.Т. Арсенкин, В.Н. Шабалин, Д.М. Лихошерстов// Автоматическая сварка.– 1965.–№ 8.– С. 34-36.
4. Лихошерстов Д.М. К вопросу восстановления и изготовления штамповых кубиков/ Д.М. Лихошерстов, В.Г. Радченко, В.Н. Шабалин, В.Т. Арсенкин// Труды н.-т. конф. Сб.Ч.1-ТГУ.– Томск, 1970.– С. 17-18.
5. Радченко В.Г. Центробежное электрошлаковое литье трубопроводной арматуры/ В.Г. Радченко, Е.Н. Еремин, С.Н. Жеребцов, В.Н. Шабалин// Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производства: Сб. н.-т. конф./ под ред. проф. В.А. Маркова, А.М. Гурьева.– вып.4.–Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002.–С.207-209.
6. Шабалин В.Н. Центробежное электрошлаковое литье стальных фланцев/ В.Н. Шабалин, В.Г. Радченко, С.Н. Жеребцов, Е.Н. Еремин// Металлургия машиностроения, 2004.– №1.– С.19-20.
7. Еремин Е.Н. Структура и свойства литых сталей 09Г2С и 10Г2 электрошлакового переплава/ Е.Н. Еремин, С.Н. Жеребцов, В.Г. Радченко, В.Н. Шабалин// Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производства: Сб науч.тр./ под ред. проф. В.А. Маркова, А.М. Гурьева.– вып.4.–Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002.–С.217-219.
8. Жеребцов С.Н. Электрошлаковое литье жаропрочного сплава модифицированием TiCN / С.Н. Жеребцов, В.В. Галлер, В.Г. Радченко, В.Н. Шабалин// Проблемы и перспективы развития литейного производства: Сб. науч.тр./ под ред. проф. В.А. Маркова.– вып.2.–Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2000.–С.26-28.
9. Гельфанд К.М. Быстрорежущая сталь с присадкой бора для литого инструмента /

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ,  
МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ БОРОМ  
ПРИ ЭШП ОТХОДОВ ИНСТРУМЕНТА

- К.М. Гельфанд, З.М. Гомольская// Сб. Литой и наплавленный инструмент.–М.ВНИТОМАШ, 1951.– С.48.
10. Имшенник К.П. Электродуговая наплавка быстрорежущего борсодержащего сплава на инструмент// Сб. Литой и наплавленный инструмент.–М.ВНИТОМАШ, 1951.–.58-63.
11. Тютева Н.Д Литой инструмент из быстрорежущей стали с присадкой бора //Литейное дело. – 1962. - № 3. – С. 16-17.
12. Хмельницкий С.Н. Изготовление режущего инструмента наплавкой быстрорежущей сталью электродами с борсодержащим покрытием// Л.: ЛДНТП, 1951. – Информ.-техн. листок. - № 54. – 3 с.

**Шабалин Виталий Николаевич**, *к.т.н., профессор кафедры «Малый бизнес в сварочном производстве» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. e-mail: svarka-biznes@mail.ru тел.8-913-263-70-75*