Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации.

### ОмГТУ

Кафедра оборудования и технологии сварочного производства.

Курсовая работа.

По курсу «Инженерное творчество».

На тему: «Электрошлаковая сварка».

Выполнил:

Студент МСФ С-110

Проверил:

Доцент к.т.н.

Шестель Л.А.

**г. Омск, 2000**

## Введение.

Электрошлаковая сварка (ЭШС) нашла широкое применение при изготовлении изделий металлургического, прокатного и энергетического оборудования, в котло-, гидро- и прессостроении, в строительстве и т.д. С помощью этого способа сварки выполняются конструкции из углеродистых и легированных сталей, титана, алюминия, меди и их сплавов. Диапазон свариваемых толщин металла составляет 20-2500 мм.

Современная оснащённость ЭШС такова, что позволяет решать практически любые задачи промышленности на самом высоком техническом уровне. Причём, как показал многолетний опыт, эффективность применения ЭШС в значительной степени зависит от правильного выбора сварочного оборудования, а также рационального решения вопросов техники сварки и применения соответствующей технологической оснастки.

### Аннотация.

В данной работе мной был рассмотрен такой вид сварки, как электрошлаковая сварка. Был рассмотрен сам процесс сварки, способы сварки и соответственно их применение в различных отраслях промышленности, в том числе и машиностроения. Приведена таблица классификации различных способов сварки. Рассмотрены некоторые технические характеристики данного процесса.

### Содержание:

Введение.

1. Описание процесса.
2. Технологические параметры.

2.2 Классификация разновидностей электрошлаковой сварки.

2.3Особенности электрошлакового процесса.

1. Область применения.

Заключение.

Литература.

## Описание процесса.

Способ сварки, основанный на выделении тепла при прохождении электрического тока через расплавленный шлак, получил название *электрошлаковой сварки*. В пространстве, образованном кромками свариваемых изделий и формирующими приспособлениями, создаётся ванна расплавленного шлака, в которую погружается металлический стержень – электрод. Ток, проходя между электродом и основным металлом, нагревает расплав и поддерживает в нём высокую температуру и электропроводность. Температура шлаковой ванны должна превышать температуру плавления основного и электродного металла. Шлак расплавляет погруженный в него электрод и кромки изделия. Расплавленный основной металл вместе с электродным собирается на дне шлаковой ванны и образует металлическую ванну, которая, затвердевая, даёт шов, соединяющий кромки изделия. По мере расплавления электрод подаётся вниз.

Наилучшие условия для плавления основного металла и для получения глубокой шлаковой ванны создаются при вертикальном положении оси шва. Поэтому электрошлаковая сварка применяется наиболее часто в сочетании с принудительным формированием сварочной ванны. Электрошлаковая сварка в нижнем положении менее удобна и не получила распространения.

## Технологические параметры процесса электрошлаковой сварки (ЭШС).

Сущность метода принудительного формирования состоит в искусственном охлаждении поверхности металлической ванны.

Основное назначение шлаков при эшс – преобразование электрической энергии в тепловую. Поэтому основной характеристикой шлаков является их электропроводность и зависимость её от температуры.

Если бы существовал шлак, не изменяющий своей проводимости в зависимости от температуры, то его сравнительно легко можно было бы использовать для целей сварки. Всегда можно подобрать такое напряжение, которое, будучи приложенным к постоянному сопротивлению, вызовет выделение в этом сопротивлении требуемой мощности и, следовательно, будет поддерживать в нём требуемую температуру. В действительности проводимость расплавленных шлаков резко повышается с ростом температуры, а ниже определённой температуры шлаки практически являются непроводниками. Это обстоятельство усложняет стабилизацию процесса.

Некоторые шлаки, содержащие двуокись титана, являются хорошими проводниками даже в твёрдом состоянии при комнатной температуре. Такого рода шлаки обладают электронной проводимостью, в отличие от ионной проводимости шлаков, находящихся в жидком состоянии.

В отличие от дуговой сварки под флюсом при электрошлаковой сварке почти вся электрическая мощность передаётся шлаковой ванне, а от неё электроду и основному металлу. Условием стабильности процесса является постоянство температуры шлаковой ванны, иначе говоря, равенство получаемого и отдаваемого тепла.

Одним из препятствий, возникающих при практическом применении электрошлакового процесса, является возможность появления дугового разряда между электродом и свободной поверхностью шлаковой ванны либо, чаще всего в глубине шлаковой ванны. Такой разряд бывает очень неустойчивым, и появление его при электрошлаковой сварке может привести к образованию дефектов шва. Для предупреждения дугового разряда сварку нужно вести в условиях, противоположных условиям стабилизации дугового разряда: в глубокой шлаковой ванне, на переменном токе, при низком напряжении холостого хода и с применением шлаков с низким стабилизирующими свойствами. Эти меры затрудняют появление дугового разряда и увеличивают устойчивость электрошлакового процесса.

Однако при чрезмерном ухудшении условия устойчивости дугового разряда, бывают случаи нарушения устойчивости электрошлакового процесса вследствие, например, случайного вытекания шлаковой ванны. Для восстановления шлаковой ванны требуется достаточно устойчивый дуговой разряд при мелкой ванне и быстрое снижение его устойчивости при глубокой ванне. Этого можно достичь применяя электрод малого диаметра, увеличивая зазор между кромками или изменяя соответствующим образом напряжение холостого хода сварочного трансформатора. Увеличение зазора экономически невыгодно.

Применение шлаков на основе фтористого кальция, обладающих большой электропроводностью, значительно сокращает время, необходимое для перехода от дугового процесса к электрошлаковому.

Чтобы электродный металл надёжно сплавлялся с основным, поверхность последнего должна быть предварительно оплавлена и иметь температуру, близкую к температуре плавления. Кроме того, поверхность металла должна быть надёжно защищена от окисления. При дуговой сварке в нижнем положении расплавление кромок и заполнение разделки металлом происходит, как правило, не одновременно. Металл из полости, выплавляемой дугой, отбрасывается назад, а полость заполняется лишь после отвода дуги. При сварке вертикальных швов это явление выражено ещё более отчётливо; металл кромок, оплавляемых дугой или шлаком, стекает вниз, образуя общую ванну с электродным металлом. В результате оплавления кромок над металлической ванной всегда образуется незаполненная металлом полость.

В тех случаях, когда кромки основного металла начинают плавиться значительно выше поверхности металлической ванны, кромки, находящиеся непосредственно над ванной, могут оказаться охлаждёнными ниже температуры плавления. В этом случае возможно так называемое несплавление. Его не следует смешивать с непроваром кромок, когда они остаются нерасплавленными. При несплавлении кромки оказываются оплавленными, но они не сплавляются с металлом шва.

Несплавление становится возможным при слишком высоком напряжении сварки, чрезмерно глубокой шлаковой ванне и при использовании шлаков, мало меняющих свою электропроводность и вязкость с температурой. При нормальных характеристиках шлаков и правильно выбранных режимах сварки преждевременному оплавлению препятствуют тепло- и электроизоляционная прослойка, образуемая шлаком у холодных кромок изделия. Благодаря ей ток между электродом и металлической ванной проходит как бы в изолированной трубке и нагрев кромок даже при больших межэлектродных промежутках начинается у самой поверхности металлической ванны.

Большая часть тепла, выделяющегося в шлаке, переносится в ванну электродным металлом. Почти вся тепловая энергия передаётся основному металлу через поверхность металлической ванны.

Если напряжение сварки держать выше, чем необходимо для расплавления электрода и кромок основного металла, то избыток тепла в шлаковой ванне идёт на увеличение проплавления кромок. Если в этом нет надобности, то это тепло можно использовать на плавление присадочного материала. Его можно подавать в виде проволоки, так же как и электрод, либо отдельными мелкими кусками.

С уменьшением диаметра электрода межэлектродный промежуток уменьшается и опасность несплавления резко снижается. Ещё большее влияние на величину межэлектродного промежутка и характер плавления основного металла оказывают колебания электрода в горизонтальном направлении.

Рентгенографические исследования и осциллографироваие процесса электрошлаковой сварки на различных режимах показали, что металл переносится с электрода в металлическую ванну в виде капель. Размеры капель тем больше, чем меньше сварочный ток, выше напряжение между электродами и металлической ванной и чем больше глубина шлаковой ванны. Наоборот, понижение напряжения сварки, уменьшение глубины ванны и увеличение тока способствуют мелкокапельному переносу электродного металла в сварочную ванну.

При больших скоростях подачи электрода, обычных при сварке малоуглеродистых сталей, низком напряжении или малой глубине шлаковой ванны капли металла могут соединяться с металлической ванной раньше, чем отделяться от электрода. Такое металлическое соединение электрода с ванной существует очень короткое время; оно почти мгновенно разрушается под действием электродинамических усилий, возникающих в проводнике и резко увеличивающихся с возрастанием плотности тока. Однако вследствие большой частоты замыканий среднее время прохождения тока через металл может составлять значительную долю общего времени сварки. Это явление не носит характера короткого замыкания. Общая проводимость зоны сварки в момент замыкания возрастает всего в 1,5 – 1,7 раза. Мощность, в зависимости от характеристики источника питания, изменяется незначительно или возрастает.

В таком же направлении изменяют характер электрошлакового процесса перемещения электрода в шлаке в горизонтальном направлении. Соприкасаясь с более холодными объёмами шлака, электрод плавится на большой глубине, и при определённых режимах капли не успевают отделяться от конца электрода до замыкания с металлической ванной.

Электрошлаковый процесс может протекать одинаково устойчиво как на постоянном, так и на переменном токе. Род сварочного тока оказывает существенное влияние на ход металлургических, протекающих в шлаковой ванне. При сварке на постоянном токе заметно развиваются явления электролиза.

Известно, что при электродуговой сварке устойчивое горение дуги возможно лишь при сравнительно большой плотности тока. Диапазон практически применяемых плотностей тока при ручной дуговой сварке невелик, но при сварке под флюса он находится в пределах от 20 до 200 *а/мм2*. В отличие от дуговой сварки электрошлаковый процесс идёт достаточно устойчиво при изменениях плотности тока в весьма широком диапазоне от 0,2-0,3 *а/мм2* (при сварке электродами большого сечения) до 200-250 *а/мм2* (при сварке проволокой диаметром 3мм). Следовательно, отличительной особенностью электрошлакового процесса является высокая устойчивость его при низких плотностях тока (в 100-200 раз меньших, чем при дуговой сварке).

## 2.1. Классификация разновидностей электрошлаковой сварки.

Электрошлаковый процесс

Стержневые,

кольцевые,

фасонные.

Сварка

проволокой

Стыковая элек-трошлаковая сварка

Сварка элек-тродом боль-шого сечения

Сварка

плавящимся

мундштуком

Электрод

большого

сечения

Свободное формирование

Принудительное формирование

Проволока

Пластина

С коле-баниями

Без коле-баний

Сверху

Сбоку

Наплав-ка

Заварка дефектов

Уплот-нение

Длинные прямые швы

Короткие прямые швы δ<500

Короткие прямые швы δ>500

Сварка компактных деталей

Кольцевые швы

Отливка и переплавка слитков

Мелкие сечения. Сварка стержней арматуры

Швы сложного сечения

Криволинейные швы

Рис.1. Классификация разновидностей эшс.

Здесь приведена схема различных применений электрошлакового процесса. Различают две основные группы приёмов электрошлаковой сварки: 1) со свободным формированием сварочной ванны и 2) с принудительным формированием её. Кроме того, возможно деление по другим признакам: по роду тока, характеристике источника питания, степени механизации и многим другим показателям.

Электрошлаковая сварка с принудительным формированием может выполняться различными приёмами, зависящим от типа электродов, способа введения их в разделку и подвода к ним сварочного тока. Из них в настоящее время применяются: сварка проволокой, сварка электродом большого сечения, сварка плавящимся мундштуком и стыковая электрошлаковая сварка (контактно-шлаковая).

Для сварки металла большой толщины электроду следует придавать колебательные движения в направлении толщины металла либо увеличивать число электродов или изменять их сечение. Очень часто применяется сочетание этих приёмов.

При сварке с колебаниями число электродов обычно не превышает трёх, во избежание чрезмерного усложнения аппаратуры. При сравнительно коротких швах мундштуки можно вводить в разделку не сбоку, а сверху. В этом случае число электродов может быть значительно большим трёх. В обоих случаях мундштуки вместе с подающим механизмом движутся вверх со скоростью образования шва.

Наряду с электродами сплошного сечения при описанных выше схемах электрошлакового процесса может быть применена так называемая порошковая проволока или трубчатый электрод с целью дополнительного легирования металла шва.

Если мундштуки сделать из того же (примерно) материала, что и электродные проволоки, и подающий механизм при сварке не поднимать, то мундштуки при подходе к ним шлаковой ванны будут плавиться и переходить в шов. Этот приём электрошлаковой сварки называется сваркой плавящимся мундштуком.

При сварке тремя пластичными электродами, мундштуки отсутствуют, а механизм вертикального перемещения с неподвижно закреплённым в нем электродом движется вниз навстречу шву.

Электроды большого сечения могут иметь самую разнообразную форму поперечного сечения: прямоугольную, кольцеобразную (для сварки цилиндрических деталей) или фасонную. Для уплотнения слитков, отливки, переплавки и других видов работ с большим количеством переплавляемого металла могут применяться электроды из брикетированной стружки и других отходов. В некоторых случаях для регулирования проплавления кромок могут применяться полые электроды, заполненные металлической крупкой.

Стыковая электрошлаковая сварка, или, как её называют, контактно-шлаковая, отличается тем, что при ней отсутствует присадочный металл; ток пропускается между свариваемыми частями. При этой схеме свариваемые поверхности занимают горизонтальное положение; шлаковая ванна находится между нижней деталью и верхней. При пропускании тока через шлак свариваемые поверхности оплавляются, а над нижней поверхностью образуется ванна расплавленного металла. После этого свариваемые части сближаются; шлак вытесняется из пространства между ними, расплавленный металл затвердевает и детали оказываются сваренными между собой. Момент выключения тока может иногда предшествовать осадке свариваемых деталей.

Сварка проволокой в настоящее время широко применяется в промышленности. Она даёт возможность получать швы различной формы с достаточно равномерным проваром заданной ширины. Проволокой можно сварить металл толщиной от 20 до 500-600 мм при любой длине шва.

Пластинчатыми электродами сваривают прямолинейные швы любой толщины и сравнительно небольшой длины (до1-1,5 м). Применительно к коротким швам сварка пластинами удобнее сварки проволоками с колебаниями, так как аппаратура для неё проще и надёжнее. Кроме того, при сварке пластинами не требуется свободного места перед стыком. Важным преимуществом этого способа является возможность использования в качестве электродов таких материалов, как чугун, из которого нельзя или затруднительно изготовить проволоку.

Сварка плавящимся мундштуком может применяться для металла любой толщины при длине шва до 3 м, а в случае необходимости - и более. Она, как и сварка пластиной, не требует свободного места сбоку от стыка и, кроме того, допускает ограничение места над стыком. Характерной особенностью её является возможность сварки швов сложного криволинейного профиля. Аппаратура для сварки плавящимся мундштуком состоит из одного подающего механизма переносного типа, устанавливаемого, как правило, непосредственно на изделие. Это делает её удобной для сварки мелких швов, для которых другие способы невыгодны.

## 2.2.Особенности электрошлакового процесса.

Электрошлаковая сварка с принудительным формированием отличается от дуговой сварки как ручной, так и автоматической, рядом особенностей, которые необходимо учитывать и использовать при применении этого способа.

При прохождении электрического тока через шлак не происходит такого интенсивного выделения газов, сопровождающегося разбрызгиванием шлака, как при дуговой сварке. При установившемся электрошлаковом процессе разбрызгивания шлака не происходит вовсе. Это позволяет вести сварку с открытой поверхностью шлаковой ванны. Подача шлака в ванну ограничивается очень небольшим количеством, равным количеству отлагающейся на поверхности шва шлаковой корки толщиной 1-1,5 мм. Это по весу составляет всего 0,2-0,3 кг на погонный метр шва, независимо от толщины металла.

Благодаря малому количеству расплавляемого флюса расходуемая электрическая энергия хорошо используется для плавления электрода и основного металла.

Вследствие интенсивного перемешивания шлака плавление кромок происходит на большем расстоянии от электрода чем это возможно при дуговой сварке.

Практическими следствиями этих особенностей являются: малый расход шлака, составляющий в среднем, с учетом потерь на рассыпание, 5% от веса наплавленного металла, т.е. в 20 раз меньший, чем при дуговой сварке под флюсом, и малый расход электрической энергии на 1 кг наплавленного металла, в 1,5-2 раза меньший, чем при дуговой сварке под флюсом и в 4 раза меньший, при сварке открытой дугой. Ещё более важным практическим результатом этих особенностей является возможность осуществления однопроходной сварки металла толщиной до 150-200 мм на один электрод, а при большем количестве электродов – практически неограниченной толщины. Именно это свойство открывает самые широкие перспективы применения электрошлаковой сварки в промышленности, в первую очередь в тяжёлом машиностроении.

Из других особенностей электрошлаковой сварки наибольшее значение имеют следующие.

Вследствие сравнительно малого расхода флюса и, следовательно, незначительного пополнения шлаковой ванны новыми порциями флюса, обеспечивается более постоянный, чем при дуговой сварке, химический состав металла шва.

Благодаря вертикальному положению оси шва значительно облегчается всплывание газовых пузырей и частиц шлака и удаление их из металла. Улучшается заполнение металлом междендритных пустот. Если газовый пузырёк или неметаллическое включение задержится на границе металл – шлак, то они будут перемещаться вместе с этой границей, тогда как при сварке в нижнем положении они были бы захвачены кристаллизующимися металлом. Поэтому склонность к образованию пор и других неплотностей при электрошлаковой сварке во много раз ниже, чем при дуговой сварке в нижнем положении; меньше чувствительность к влажности шлака, ржавчине и загрязнении кромок.

Вследствие благоприятного направления роста кристаллов в швах, выполненных электрошлаковым способом в вертикальном положении, отсутствует так называемая зона слабины, наблюдаемая в швах большого сечения, сваренных в нижнем положении. Это же обстоятельство значительно снижает склонность швов к образованию кристаллизационных трещин. Температурные условия для околошовной зоны также благоприятны, что как большой погонной энергией по сравнению с отдельным слоем многослойной сварки, так и предварительным, создаваемым шлаковой ванной. Нагрев кромок начинается на уровне поверхности шлаковой ванны, а плавится они начинают в непосредственной близости от металлической ванны. Между началом подогрева кромок основного металла и их плавлением проходит 2-3 и более минут, вследствие чего снижается как скорость нагрева, так и скорость последующего охлаждения.

Электрошлаковая сварка всегда производится в один проход, поэтому линейная скорость сварки толстого металла значительно ниже, чем при дуговой многослойной сварке. Благодаря этому скорости нагрева и последующего охлаждения околошовной зоны очень малы, а склонность к образованию околошовных трещин при сварке закаливающихся сталей сравнительно невелика.

Поскольку электрошлаковая сварка производится в один проход, полностью ликвидируется наиболее распространённый дефект многослойной сварки – шлаковые макроскопические включения. Они могут появляться только при грубом нарушении технологии сварки.

Сварка металла любой толщины производится без разделки кромок. Кромки, подлежащие сварке, не имеют фасок: они собираются с зазором, образующим своего рода разделку кромок. Это в несколько раз уменьшает трудоёмкость и стоимость подготовки кромок под сварку.

Благодаря симметричности разделки и положения в ней электродов при электрошлаковой сварке, как правило, отсутствуют угловые деформации. Они могут возникать только при сварке некоторых специальных типов сварных соединений.

При толщине свариваемого металла меньше 40-50 мм трудоёмкость и стоимость сварных соединений при электрошлаковой сварке больше, чем при дуговой сварке под флюсом. Однако с ростом толщины производительность и экономичность электрошлаковой сварки быстро растут и при толщинах свыше 100 мм бывают во много раз выше, чем при дуговой сварке.

## 3. Область применения.

Важнейшей проблемой современного машиностроения является экономное использование металлов, снижение металлоёмкости конструкций, повышение их надёжности и долговечности. Известно, что в сварных машиностроительных конструкциях затраты на материалы превышают 50%. Поэтому наибольший народнохозяйственный эффект от внедрения мероприятий, способствующих экономии металла, реализуется в таких отраслях машиностроения, производящих крупногабаритное толстостенное оборудование, как газо-нефтехимическая и энергетическая.

Первоначальным назначением электрошлакового процесса была сварка вертикальных монтажных швов изделий, швы которых нельзя поставить в удобное для дуговой сварки нижнее положение.

Однако высокая эффективность электрошлакового процесса вывела его за пределы монтажной сварки, сделав его основным способом сварки металла большой толщины, а затем и за пределы собственно сварочного производства. Сейчас электрошлаковый процесс применяется не только при сварке и наплавке, но также для получения отливок и слитков специального назначения и для уплотнения обычных слитков и отливок.

Электрошлаковая сварка применяется в производстве барабанов паровых котлов и других сосудов высокого давления, где уже полностью вытеснила применявшуюся ранее многослойную автоматическую сварку, при изготовлении станин крупных механических прессов, траверс, архитравов и цилиндров гидравлических прессов, валов крупных гидротурбин и гидрогенераторов, станин прокатных станов, судовых корпусов, ахтерштевней, форштевней и других судовых деталей, корпусов крупных электромашин, паровозных и тепловозных рам, стоек мартеновских печей, коленчатых валов, крупных фланцев и многих других деталей. Широкое распространение получила электрошлаковая сварка стыков арматуры. Несмотря на сравнительно небольшое сечение сварных соединений, этот способ оказался эффективнее других.

В ряде случаев применение сварных конструкций позволяет сэкономить большое количество металла. Так для сварных валов Варваринской ГЭС развес слитков составил 59 т вместо100 т для цельнокованых; сварная станина механического ковочно-штамповочного пресса давлением 4000 т весит на 24 т меньше чем в литом варианте. С применением сварки при изготовлении стоек мартеновских печей на Днепропетровском заводе металлоконструкций получена большая экономия толстого проката за счёт ликвидации отходов.

Значение электрошлаковой сварки не исчерпывается её экономическим эффектом. Широкое её применение коренным образом изменяет характер развития тяжёлого машиностроения.

Факторами, ограничивающими размеры элементов, могут быть: мощность кузнечно-прессового оборудования, размеры нагревательных и термических печей, размеры металлообрабатывающих станков. Отдельно следует рассмотреть ограничения, вносимые трудностями перевозки негабаритных грузов на место их монтажа.

Рост размеров и веса элементов может происходить только на основе пропорционального роста перечисленных выше производственных мощностей. Однако с применением электрошлаковой сварки такая пропорциональность может сохраняться не во всех случаях.

В первую очередь отпадает необходимость роста мощностей, связанных с ростом развеса слитка, поскольку электрошлаковая сварка позволяет сваривать между собой отливки в блоки любых размеров и почти любой формы. Электрошлаковая сварка, в большинстве случаев, даёт возможность соединять поковки так, чтобы в случае надобности обойтись сравнительно лёгкими прессами.

В настоящее время электрошлаковая сварка позволяет изготовить на заводах со сравнительно маломощным станочным и кузнечно-прессовым оборудованием заготовки любых размеров. Дальнейший рост размеров отдельных деталей ограничен возможностью транспортировки.

Большие возможности открываются для применения электрошлакового процесса при наплавочных работах. Электрошлаковая наплавка может успешно выполняться электродами большого сечения, например при изготовлении биметаллических изделий, при облицовке рабочих поверхностей толстостенных сосудов и т.д. Чаще всего наплавляемые поверхности располагают вертикально или наклонно: в этом случае электрошлаковый процесс ведётся также, как и при сварке.

Электрошлаковым способом успешно свариваются стали различных классов и марок. Наряду с мало- и среднеуглеродистыми сталями удаётся сваривать ферритные нержавеющие стали, хромоникелевые аустенитные стали, жаропрочные сплавы на никелевой основе, сваривают титан и его сплавы. Помимо прямолинейных и кольцевых швов большой протяжённости, можно сваривать короткие швы толстого металла.

При сварке вертикальных монтажных швов электрошлаковая сварка может оказаться выгоднее ручной сварки уже при толщине металла 16-20 мм.

Целесообразность применения данного вида сварки во многом зависит от количества швов, подлежащих сварке. Чем оно больше, тем ниже предел толщины, с которого выгодно применять электрошлаковую сварку.

## Заключение.

Электрошлаковая сварка применяется для сварки больших толщин, различных сплавов, и типов швов. Является экономичным и качественным способом сварки, по сравнению со сваркой открытой дугой. Данный процесс нашёл широкое применение в тяжёлом машиностроении и в ряде других отраслей промышленности.

## Список литературы:

1. Хакимов А.Н.

Электрошлаковая сварка с регулированием термических циклов. - М.: Машиностроение, 1984.

1. Электрошлаковая сварка. – М.: Государственное научно – техническое издательство машиностроительной литературы, 1959.

Под редакцией Патона Б.Е.

1. Сизов В.С.

Электрошлаковая сварка сталей больших толщин. – Л.: ЛДНТП, 1972.