

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Тверской государственный технический университет»**  
(ТвГТУ)

Кафедра технологии металлов и материаловедения

## **ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА СВАРКИ ЧУГУНА**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы по дисциплине  
«Сварочные материалы»  
для обучающихся по направлению подготовки магистров  
15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств,  
направленность (профиль) «Технологии сварочного производства»

Тверь 2020

УДК 621.791:669.162.275(075.8)  
ББК 30.61:34.323я7

Рецензент – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и материаловедения ТвГТУ Лаврентьев А.Ю.

Технология и техника сварки чугуна: метод. указания / сост. Д.А. Барчуков, А.В. Карелин. Тверь: ТвГТУ, 2020. 12 с.

Содержат методические рекомендации к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Сварочные материалы». Указывается порядок выполнения работы, краткие теоретические сведения и правила составления отчета.

Обсуждены на заседании кафедры технологии металлов и материаловедения, рекомендованы к изданию (протокол № 12 от 8 мая 2020 г.).

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

## ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА СВАРКИ ЧУГУНА

**Цель работы:** Ознакомление с технологией и техникой сварки чугуна.

### Общие сведения

#### 1. Классификация чугунов

Чугун - широко применяемый конструкционный материал, отличающийся высокими литейными и антифрикционными свойствами, а также хорошей обрабатываемостью. Он относится к материалам, обладающим плохой технологической свариваемостью, однако сварка чугуна применяется очень широко для исправления брака чугунного литья и ремонта чугунных изделий.

Чугунами принято называть железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода более 2,14 %. Обычный чугун представляет собой железоуглеродистокремниевый сплав, содержащий углерод от 2,5 до 4 % , кремний от 1 до 5 % в сочетании с различными количествами марганца, серы, фосфора. В специальные чугуны вводят легирующие добавки - хром, никель, молибден, ванадий, титан и др.

В зависимости от состояния углерода в сплаве различают два основных вида чугуна: белый (углерод в виде цементита) и серый (углерод в виде графита).

Структура чугуна, его физические и механические свойства зависят от скорости охлаждения и его химического состава. При одинаковом химическом составе и прочих равных условиях высокая скорость охлаждения способствует образованию в чугуне цементита, т.е. получению белого чугуна.

Замедленное охлаждение, напротив, вызывает выделение углерода в состоянии графита с получением серого ферритного чугуна. Промежуточные скорости охлаждения дают различные переходные структуры металлической части: цементитно-перлитную, перлитную, перлитно-ферритную (рис. 1).

Микроструктуры серого чугуна с различными основами приведены на рис. 2.

Все легирующие элементы и примеси в чугуне по своему влиянию на состояние углерода делят на две группы: графитизирующие, способствующие образованию графита, и карбидообразующие - задерживающие выделение графита. К элементам - графитизаторам относятся кремний, алюминий, никель, кобальт, медь.

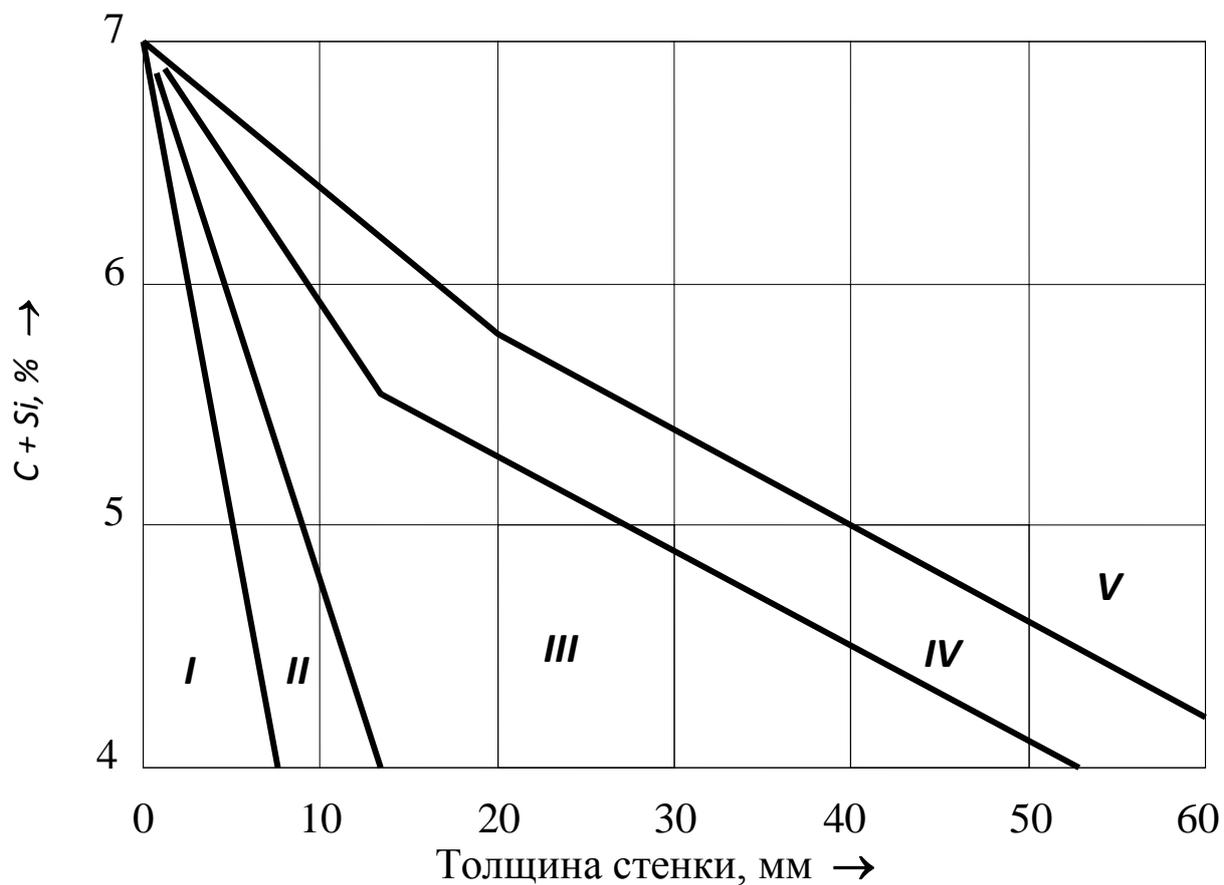


Рис. 1. Структурная диаграмма чугуна: I – белый чугун;  
 II – цементитно-перлитный; III – перлитный;  
 IV – перлитно-ферритный; V – ферритный

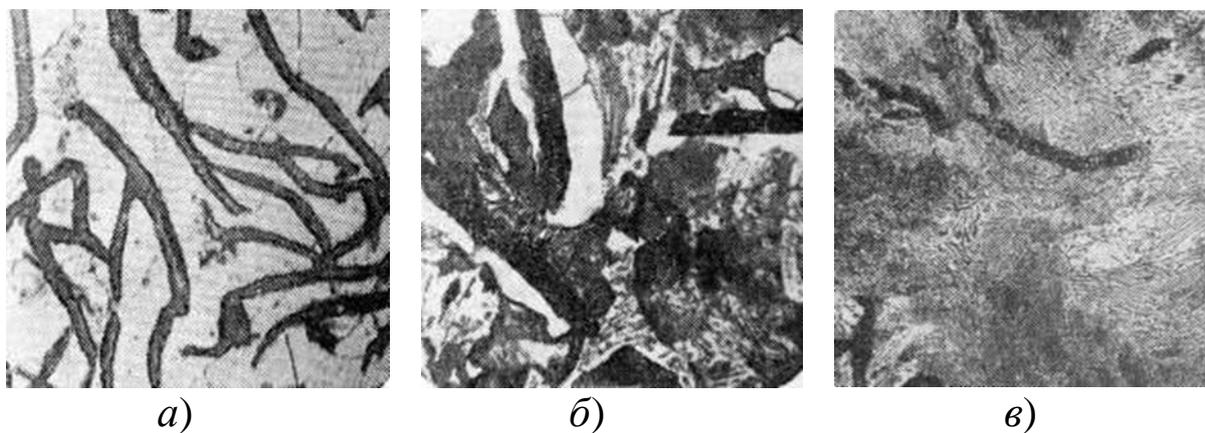


Рис. 2. Микроструктура серых чугунов ( $\times 150$ ):  
 а – ферритный; б – феррито-перлитный; в – перлитный

Влияние кремния проиллюстрировано на рис. 3. К элементам, способствующим отбелу чугуна, относятся сера, ванадий, хром, молибден, марганец, олово.

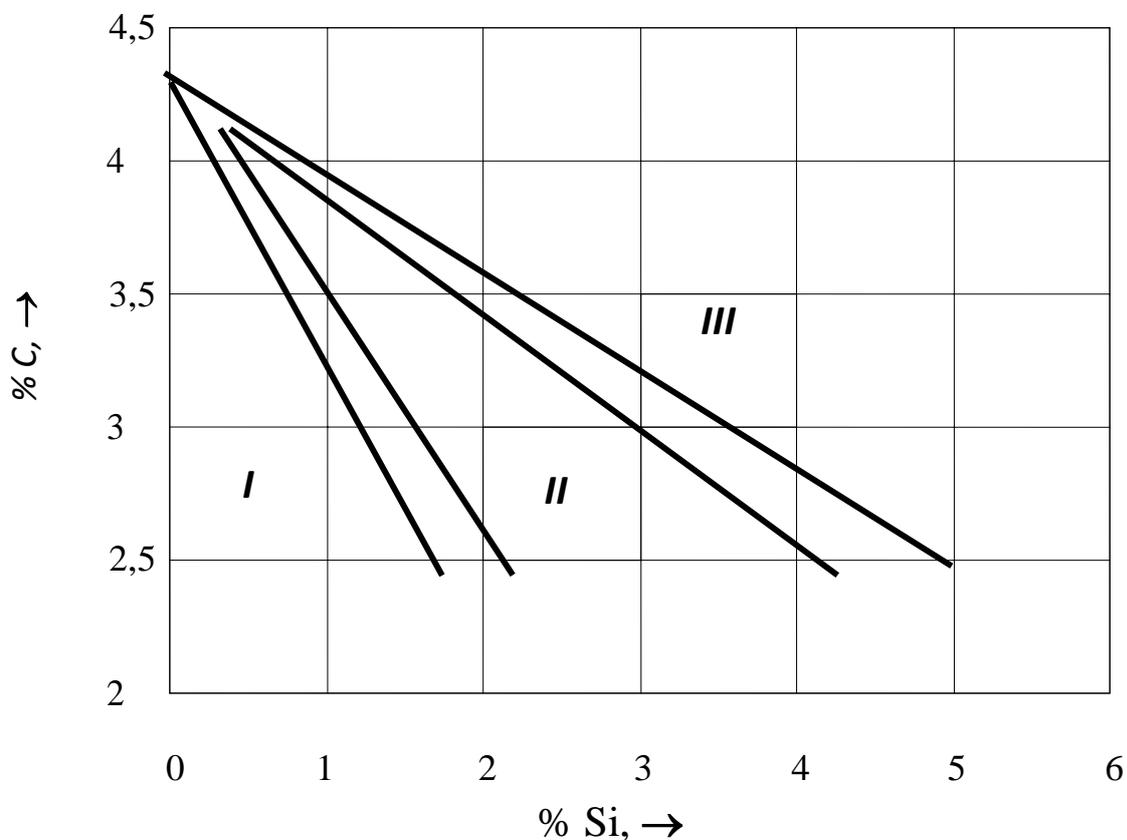


Рис. 3. Структурная диаграмма чугуна (толщина стенки отливки 60 мм):  
I – белый чугун; II – серый перлитный; III – серый ферритный

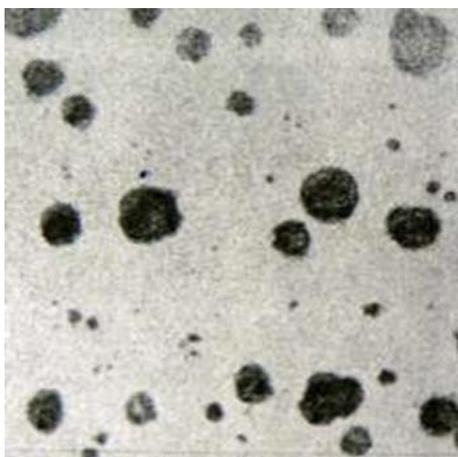
**Белые чугуны** имеют светло-серый или почти белый цвет в изломе. Это обусловлено тем, что углерод находится в связанном состоянии в виде хрупкого и твёрдого цементита. Вследствие этого белые чугуны также отличаются высокой твёрдостью и хрупкостью, не поддаются механической обработке и не подлежат сварке. Они в основном используются для получения ковкого чугуна. В ограниченных количествах белые чугуны используются для изготовления отливок, работающих в условиях абразивного изнашивания.

**Серые чугуны** в изломе имеют серебристый цвет вследствие наличия в них пластинчатых включений графита. Графит – наиболее мягкая и, вместе с тем, наиболее хрупкая составляющая чугуна. Он пронизывает металлическую основу чугуна и нарушает его сплошность, действуя как внутренний надрез. Вместе с тем графит сообщает чугуну малую чувствительность к внешнему надрезу, придавая тем самым сплаву высокую сопротивляемость

знакопеременным нагрузкам. Эти свойства чугуна (серого), а также высокие литейные свойства, хорошая обрабатываемость его обычным режущим инструментом и износостойкость определяют в первую очередь широкое применение сплава как важного конструкционного материала. Серые чугуны маркируются буквами СЧ и цифрами. Первые две цифры – предел прочности при растяжении, две другие – предел прочности при изгибе (кгс/мм<sup>2</sup>).

Пример: СЧ12-28, СЧ15-32, СЧ38-60.

**Высокопрочные чугуны** получают при отливке по специальной технологии с применением модифицирующих добавок (магния, редкоземельных элементов и др.). Благодаря этому выделяющийся графит приобретает шаровидную форму и включения его равномерно распределяются в металлической матрице (рис. 4а). Шаровидная форма графита придает такому чугуну высокие механические свойства, в частности ограниченную способность к пластической деформации. Высокопрочные чугуны маркируются буквами ВЧ и цифрами, первые две из которых характеризует временное сопротивление чугуна при растяжении (кгс/мм<sup>2</sup>), остальные – относительное удлинение (%). Пример: ВЧ60-2, ВЧ40-10.



а)



б)

Рис. 4. Улучшенная форма графитных включений ( $\times 150$ ):  
а – высокопрочный чугун; б – ковкий чугун

**Ковкие чугуны** нашли применение в различных отраслях промышленности и особенно в автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении. Графит этих чугунов имеет форму крупных хлопьев или розеток, равномерно распределённых в металлической матрице чугуна (рис. 4б). Такая форма графита получается в результате длительного отжига доэвтектического белого чугуна. Для ковких чугунов характерно более низкое

содержание углерода по сравнению с серыми и высокопрочными. Ковкие чугуны маркируются буквами КЧ и цифрами, обозначающими временное сопротивление при растяжении ( $\text{кгс/мм}^2$ ) и относительное удлинение (%).

Пример: КЧ38-8, КЧ35-10.

## **2. Свариваемость чугуна**

Чугун относится к материалам, обладающим плохой технологической свариваемостью. Основными причинами являются:

а) высокие скорости охлаждения металла шва и ОШЗ, соответствующие термическому циклу сварки приводят к отбеливанию чугуна - образованию твёрдого и хрупкого цементита в котором под действием остаточных напряжений за счет неравномерного нагрева, а также за счет разной плотности отбеленных участков ( $7,4-7,7 \text{ г/см}^3$ ) и участков с серым чугуном (плотность  $6,9-7,3 \text{ г/см}^3$ ) могут возникнуть трещины.

Трещины, образующиеся при сварке чугуна, можно отнести к холодным трещинам, так как верхняя граница температурного интервала появления трещин не превышает  $250-400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Трещины при сварке чугуна образуются, в отличие от холодных трещин при сварке закаливающихся сталей, не при постоянной температуре, а чаще всего в процессе охлаждения, когда внутренние напряжения вследствие усадки шва непрерывно возрастают. Напряжения не могут релаксироваться ввиду ничтожной пластичности серого чугуна, а металлографический анализ показывает, что для образования трещин наличие закалочных структур (цементита, мартенсита) в ЗТВ необязательно. В то же время возникновение трещин значительно облегчается, если в околошовной зоне имеется мартенсит, который увеличивает напряжения второго рода;

б) большая склонность к образованию пор за счет сильного газообразования в сварочной ванне;

в) повышенная жидкотекучесть чугуна затрудняет удержание расплавленного металла от вытекания и формирование шва;

г) наличие кремния, а иногда и других элементов в металле сварочной ванны способствует образованию на её поверхности тугоплавких окислов, приводящих к образованию непроваров.

Чугунные детали, работающие длительное время при высоких температурах, почти не поддаются сварке. Причиной служит охрупчивание чугуна за счёт высокотемпературного окисления углерода и кремния. Его показывают иногда горелым.

Также плохо свариваются чугуны, работающие длительное время в соприкосновении с маслом и керосином. В таких случаях поверхность чугуна

как бы пропитывается маслом и керосином, которые при сварке сгорают и образуют газы, способствующие появлению сплошной пористости в сварном шве.

### 3. Способы сварки чугуна

**Горячая сварка** чугуна – при предварительном подогреве до температуры 600-700 °С с последующим медленным охлаждением. Такой способ обеспечивает такую скорость охлаждения сварных соединений, при которой происходит полная графитизация металла шва и отсутствует отбел чугуна в околошовной зоне. Резко снижается уровень остаточных напряжений. Горячая сварка чугуна производится обычно чугунными электродами с применением подформовывающих устройств. Сварка ведется на постоянном или переменном токе на повышенном режиме  $I_{св}=(50-60)d_{э}$ . Однако при горячей сварке чугуна резко ухудшаются условия труда сварщика.

**Полугорячая сварка** чугуна производится при предварительном подогреве до температуры 250-400 °С. Такая температура подогрева обеспечивает снижение уровня остаточных сварочных напряжений и несколько снижает отбел чугуна.

**Холодная сварка** чугуна – сварка без предварительного подогрева. При этом способе всегда образуется отбеленный чугун в околошовной зоне и в металле шва, если используется присадочный металл сходный по составу с чугуном. Поэтому для снижения вероятности образования трещин при холодной сварке чугуна, как правило, используются высокопластичные присадочные материалы из цветных металлов (медь, никель) или сплавов (медно-никелевых, медно-железных, железо-никелевых). Зона сварки высокопрочного чугуна высоконикелевой проволокой ПАНЧ-11 показана на рис. 5.

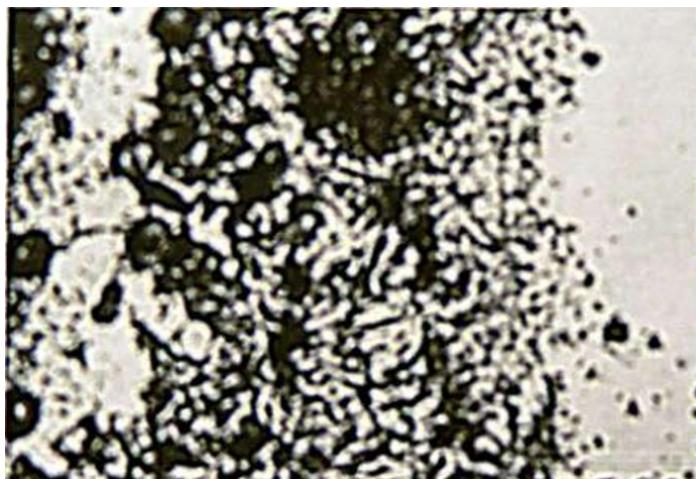


Рис. 5. Микроструктура зоны сварки высокопрочного чугуна проволокой ПАНЧ-11(×150)

Слева располагается основной металл (ферритный чугун с шаровидным графитом), справа – наплавленный металл (углеродистый никель, почти не травится). Возле линии сплавления появляются участки перлита и ледебурита.

### **Оборудование**

1. Пост РДС на базе выпрямителя ВД-306.
2. Полуавтомат А-825.
3. Раскройный стенд.
4. Установка для изготовления шлифов.
5. Твердомер ТК-2.
6. Муфельная печь.

### **Материалы**

1. Электроды ЦЧ-4.
2. Проволоки ПАНЧ-11 и Св08Г2С .
3. Керосин.
4. Мел.
5. Набор шлифовальных бумаг.
6. Травитель шлифов (4% спиртовой раствор  $\text{HNO}_3$ ).
7. Пластины из серого чугуна СЧ15-32 толщиной  $8 \div 10$  мм.

### **Порядок выполнения работы**

#### **1. Холодная сварка чугуна**

1. Сварить пластины электродами ЦЧ-4, проволокой ПАНЧ-11, проволокой Св08Г2С диаметром 1,0...1,2 мм в среде  $\text{CO}_2$ .
2. Изготовить поперечные шлифы и сфотографировать микроструктуру сварного соединения.
3. Промерить твёрдость сварного соединения и вычертить график распределения твёрдости во шве и ЗТВ.
4. Провести испытания на плотность сварных швов керосиновой пробой.

#### **2. Полугорячая сварка чугуна**

1. Нагреть пластины в муфельной печи до температуры 400 °С. Сварить пластины электродами ЦЧ-4, проволокой ПАНЧ-11, проволокой Св08Г2С диаметром 1,0...1,2 мм в среде  $\text{CO}_2$ . Изготовить шлифы и промерить твёрдость сварного соединения.
2. После полного остывания изготовить поперечные шлифы и сфотографировать микроструктуру сварного соединения.

3. Промерить твёрдость сварного соединения и вычертить график распределения твёрдости во шве и ЗТВ.

4. Провести испытания на плотность сварных швов керосиновой пробой.

### **3. Горячая сварка чугуна**

1. Нагреть пластины в муфельной печи. Сварить пластины проволокой Св08Г2С и электродами ЦЧ-4. После сварки обеспечить медленное остывание сварного соединения (поместить в сухой песок, либо укрыть теплоизоляционным материалом).

2. После полного остывания изготовить поперечные шлифы и сфотографировать микроструктуру сварного соединения.

3. Промерить твёрдость сварного соединения и вычертить график распределения твёрдости в шва и ЗТВ.

4. Провести испытания на плотность сварных швов керосиновой пробой.

### **Содержание отчёта**

1. Краткие сведения о свариваемости чугуна.
2. Режимы сварки по п.п. 1 - 3. Порядка выполнения работы
3. Графики распределения твёрдости во шве и ЗТВ.
4. Фотографии микроструктур зоны сварки.
5. Данные испытаний на плотность керосиновой пробой.
6. Выводы со сравнительным анализом способов сварки.

### **Контрольные вопросы**

1. Укажите область применения чугунов.
2. Укажите типы матрицы серых чугунов.
3. Укажите положительные и отрицательные свойства серых чугунов.
4. Как влияет кремний на структуру чугуна?
5. Как можно улучшить форму графитовых включений?
6. Как расшифровать марку чугуна СЧ12-28?
7. Как расшифровать марку чугуна ВЧ60-2?
8. Как расшифровать марку чугуна КЧ60-2?
9. Укажите трудности сварки чугуна.
10. В чем состоит сущность горячей сварки чугуна?
11. В чем состоит сущность полугорячей сварки чугуна?
12. В чем состоит сущность холодной сварки чугуна?
13. Укажите электродные материалы для холодной сварки чугуна.

### **Библиографический список**

1. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учебник / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин. 3-е изд., доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 648 с.

2. Бурмистров, Е.Г. Основы сварки и газотермических процессов в судостроении и судоремонте: учебник / Е.Г. Бурмистров. СПб.: Лань, 2017. 552 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/96849>

3. Гладков, Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке: учеб. пособие по спец. «Оборудование и технологии сварочного производства» напр. подготовки «Машиностроительное производство и оборудование» / Э.А. Гладков. М.: Академия, 2006. 430 с.

4. Федосов, С.А. Основы технологии сварки: учеб. пособие / С.А. Федосов, И.Э. Оськин. М.: Машиностроение, 2017. 125 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/107157>

## **ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА СВАРКИ ЧУГУНА**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы по дисциплине  
«Сварочные материалы»  
для обучающихся по направлению подготовки магистров  
15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств,  
направленность (профиль) «Технологии сварочного производства»

Составители: Д.А. Барчуков, А.В. Карелин

Технический редактор Ю.Ф. Воробьева

---

Физ. печ. л. 0,75

Усл. печ. л. 0,698

Уч.-изд. л. 0,653

---

Редакционно-издательский центр  
Тверского государственного технического университета  
170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22