

Г.Н. Соколов, В.Б. Литвиненко-Арьков, В.И. Лысак  
(Волгоградский государственный технический университет)

## Способы повышения ресурса прошивных оправок трубопрокатных станов\*

*Рассмотрены условия работы, показаны характерные виды износа прошивных оправок трубопрокатных станов и дан критический анализ основных способов повышения их износостойкости. Обоснована эффективность применения комплексной технологии дуговой и электрошлаковой наплавки носков и раскатной поверхности оправок.*

*The conditions of work and characteristic species of wear tube rolling mills plug are shown and critical analysis of the main ways to increase their durability are made. The efficiency of the use of complex technology arc and electroslag surfacing of plug nose and his reeling surface is proved.*

**Ключевые слова:** производство труб; прошивная оправка; деформация; износостойкость; упрочнение; наплавка; легирование.

**Keywords:** tube manufacturing; piercing plug; deformation; wear resistant; hardening; hardfacing; alloying.

Прошивные оправки трубопрокатных станов (рис. 1), формирующие внутреннюю полость стальных трубных заготовок, подвергаются интенсивному термосиловому воздействию при температурах до 1200 °C, напряжениях до 170 МПа и скоростях деформации металла до 1 м/с, что обуславливает их высокоскоростное изнашивание [1–3].

Технический ресурс современных инструментов, определяемый преимущественно их износостойкостью, обычно недостаточен, что снижает производительность оборудования, ухудшает его качество и повышает себестоимость продукции, особенно при прокатке труб из труднодеформируемых сплавов.

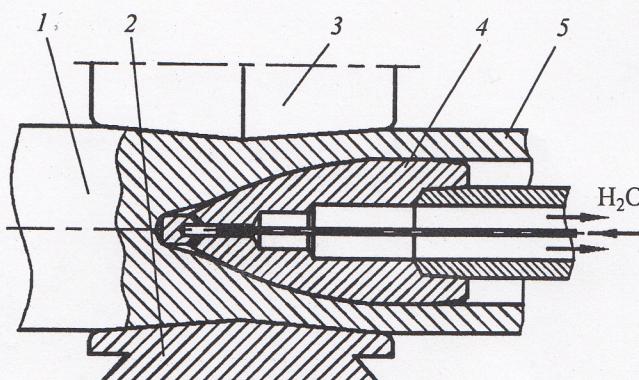


Рис. 1. Схема прошивки:

1 – заготовка; 2 – направляющая линейка; 3 – валок; 4 – оправка; 5 – прошитая стальная гильза

\* Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта № 16.740.11.0017 Министерства образования и науки РФ.

Наиболее характерными видами износа большинства типов оправок являются [1]:

- задиры поверхностных слоев металла в результате адгезионного взаимодействия металла заготовки с металлом оправки;
- паровая эрозия и оплавление металла в зоне спрейерных отверстий;
- пластическая деформация металла носка и раскатной поверхности;
- трещины термической усталости.

Известно много способов повышения ресурса прошивных оправок, которые можно условно разделить на две группы.

К первой группе относятся мероприятия, связанные с совершенствованием технологических процессов прокатки и выбором инструментальных сталей. Так, оптимизация параметров режима прокатки [4, 5] в сочетании с технически обоснованным выбором калибра оправки [6, 7] обеспечивают перераспределение действующих напряжений и снижение вероятности пластической деформации поверхности инструмента. Применение технологических смазок [8] позволяет снизить адгезионное взаимодействие оправок с обрабатываемым металлом, что повышает их стойкость к задирам. Для улучшения термических условий работы инструмента при прокатке применяют водяное охлаждение, что дает возможность значительно повысить его стойкость [4].

Большое влияние на качество продукции и технологические показатели процесса прокатки оказывает материал оправок. В отечественном производстве для деформирования углеродистых и легированных сталей (ШХ15, 30ХГСА, 32Г2А, 40ХНМА и др.) преимущественно используют оправки, изготовленные из высоко-

прочных низколегированных сталей (12Х2МФСР, 18Х2Н4ВА, 20ХН4ФА, 20ХН3А, 30Х3МФ и др.) [1, 3, 4, 8–10], а для прокатки заготовок из коррозионно-стойких сталей – оправки из жаропрочных сплавов [1, 3].

Эксплуатационные свойства оправок также зависят от способа их изготовления (литьё; ковка с последующей механической обработкой; точная горячая штамповка). Наибольшей стойкостью обладают оправки, полученные в процессе точной горячей штамповки. После такой термомеханической обработки металл не содержит дефектов, свойственных литым сплавам, а в приповерхностном его слое по контуру оправки формируется волокнистая структура металла с высокой плотностью дислокаций, что обеспечивает ему повышенную износостойкость [10]. Кроме того, изношенные оправки восстанавливают методом повторной штамповки на калибр меньшего размера [11].

Ко второй группе эффективных средств повышения износостойкости оправок следует отнести различные способы их упрочнения.

Поскольку оправка в процессе прошивки взаимодействует с ювелирной поверхностью обрабатываемого металла, то важно предотвратить процессы их адгезионного взаимодействия. Барьером, препятствующим такому взаимодействию, является оксидный слой, формируемый на поверхности большинства типов прошивных оправок, работающих в окислительной среде воздуха или водяного пара. Для этого в промышленности применяют технологические процессы высокотемпературного оксидирования оправок, а также разработаны химические составы инструментальных сталей, на поверхности которых в процессе термической обработки образуется прочный слой оксидов [12, 13].

Показано [12], что никель в стали способствует интенсификации процесса ее окисления при термической обработке и положительно влияет на прочность соединения оксидного слоя с поверхностью оправки. Установлено, что оптимальное содержание никеля в металле оправок, деформирующих заготовки из коррозионно-стойких сталей, должно составлять 7...8 % мас. (сталь 20ХН8Л).

Термообработка стали 20ХН8Л приводит к образованию на ее поверхности более толстого и тугоплавкого оксидного слоя, чем на стали 20ХН3Л, что обеспечивает рост стойкости оправок в среднем в 1,4 раза [12]. Однако при повышенном времени контакта оправки с горячейстью (более 10 с) ее носок разогревается до температур, близких к температуре деформируемой стали, и нормальные напряжения возрастают до 1000 МПа [3]. При этом происходит разрушение оксидного слоя, активизируются процессы адгезионного взаимодействия между металлом оправки и металлом трубной заготовки и возможно их сваривание [4, 8].

Известны способы создания защитных покрытий напылением на поверхность носков оправок никелевых сплавов [14]. Такая технология хотя и позволяет повысить износостойкость оправок в среднем в 1,5

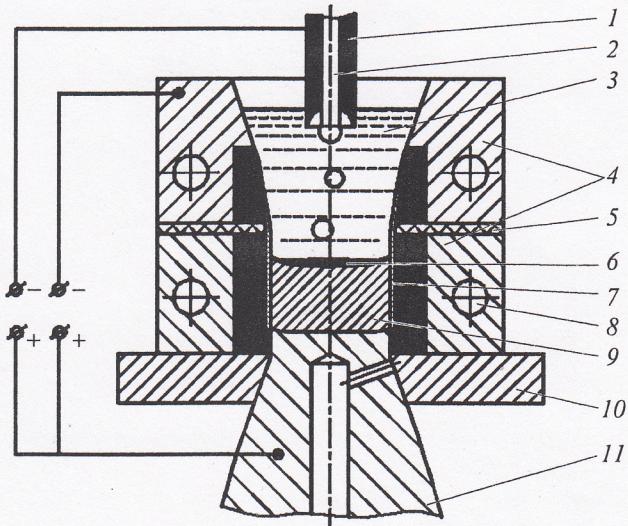
раза по сравнению с ненапыленным инструментом, но оказывается малоэффективной в случаях деформирования заготовок из углеродистых и легированных сталей.

В работах [3, 9] показана прямая зависимость стойкости прошивных оправок от активности адгезионного взаимодействия с деформируемым металлом, а также от способности их носков сопротивляться пластической деформации при высоких температурах.

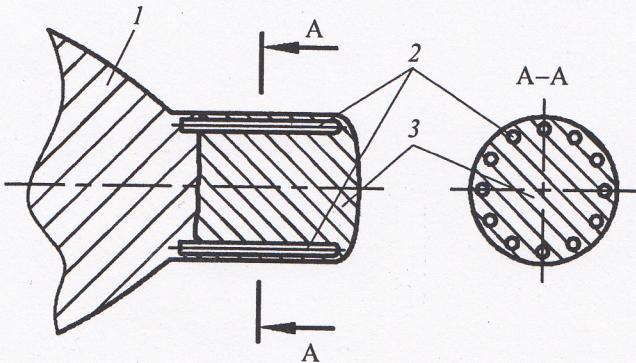
В качестве критерия, характеризующего активность адгезионных процессов, иногда применяют значение углеродного эквивалента для инструментальной стали  $C_{\text{экв}}$  [9]. Использование стали 40Х5МФС с повышенным значением  $C_{\text{экв}} = 1,8$ , из которой изготавливали носок и приваривали его к оправке (сталь 40ХГ2Ф), позволило, по данным авторов [9], в 2–3 раза увеличить износостойкость инструмента при деформировании литых заготовок из стали 32Г2А. Сваривания носка с прокатываемым металлом при этом не происходило.

Максимально повысить стойкость носков оправок к пластической деформации можно с использованием технологических процессов их наплавки жаропрочными сплавами на основе никеля ХН65МВ, Х20Н60М15В4, 15ХН55В4М17К2 [15]. Наплавку носков оправок проводят ванно-дуговым [16] или электрошлаковым (ЭШН) [17] способами в водоохлаждаемых кристаллизаторах.

Стабильный электрошлаковый процесс и высококачественный наплавленный металл реализуются способом ЭШН в токоподводящем кристаллизаторе. Таким способом (рис. 2) авторы [17] наплавляли сплав



**Рис. 2. Схема ЭШН носков оправок:**  
1 – неплавящийся электрод; 2 – порошковая проволока; 3 – шлаковый расплав; 4 – секции кристаллизатора; 5 – изоляционная вставка; 6 – металлическая ванна; 7 – шлаковый гарнисаж; 8 – каналы для жидкостного охлаждения; 9 – жаропрочный наплавленный металл; 10 – основание; 11 – оправка

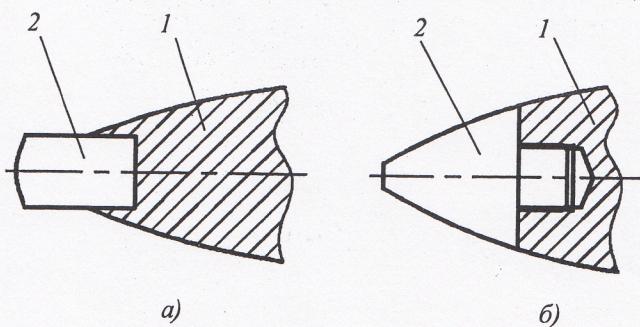


**Рис. 3. Схема расположения волокон при изготовлении композиционного носка оправки:**  
1 – оправка (сталь 20ХН4ФА); 2 – вольфрамовые волокна; 3 – наплавленный металл "Хастеллой-С"

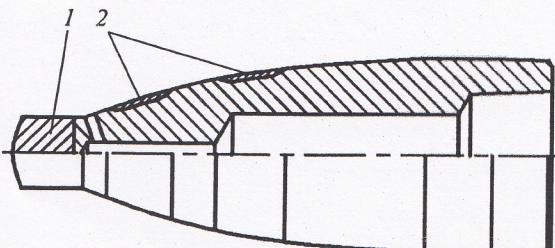
на никелевой основе (200ХН70М4Б2) на торцы оправок, изготовленных из стали 20ХН4ФА. Показано [18], что в переходной зоне между наплавленным и основным металлами отсутствуют опасные кристаллизационные и диффузионные прослойки, а оправки обладают повышенными эксплуатационными свойствами. Их стойкость возросла в 2–2,5 раза по сравнению со штатным инструментом.

Одним из эффективных способов упрочнения носка оправки является формирование в нем в процессе ЭШН волокнистого композиционного материала (ВКМ), в котором высокопрочные волокна располагаются в периферийной зоне носка [19–21] (рис. 3). В качестве матрицы композита использованы сплавы 15ХН55В4М17К2 ("Хастеллой-С") и 200ХН70М4Б2, волокна изготавливали из вольфрамовой проволоки марки МВ50-1А диаметром 2 мм. Износостойкость оправок с наплавленным композиционным носком повысилась в 1,5–2 раза по сравнению с оправками, носок которых изготовлен элекрошлаковой наплавкой сплавом "Хастеллой-С".

Для изготовления носков оправок можно применять также сплавы на основе ниобия или молибдена, содержащие % мас.: 10 W, 2,5 Zr и 0,5 Ti; 0,08 Zr соответственно [22, 23]; и – керамические материалы [24].



**Рис. 4. Схема оправок со сменными носками из жаропрочных сплавов:**  
1 – оправка; 2 – носок оправки



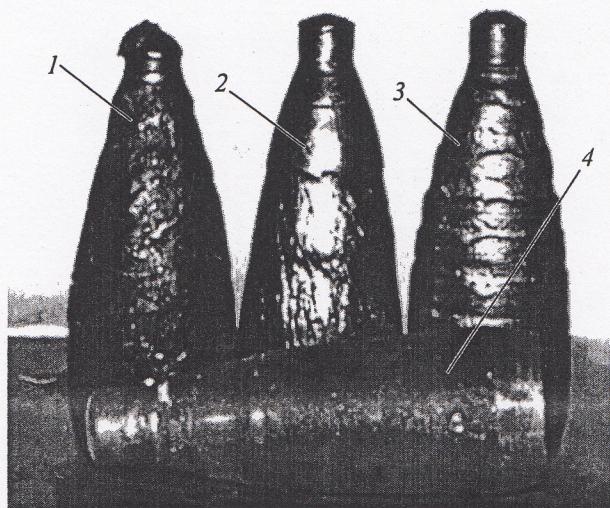
**Рис. 5. Схема водоохлаждаемой оправки, упрочненной плазменно-порошковым способом:**  
1 – носок, наплавленный ЭШН; 2 – валики металла, наплавленные плазменно-порошковым способом

При этом в качестве основного металла оправки используют низколегированные хромоникелевые стали, а носок запрессовывают в паз, выполненный в торце оправки [23] (рис. 4, а) или крепят его к оправке с помощью резьбового соединения [24] (рис. 4, б). Преимуществом рассмотренного способа упрочнения является возможность заменять изнашивающиеся части оправки в процессе эксплуатации.

Не только повысить износостойкость инструмента, но и улучшить качество внутренней поверхности стальных гильз можно с применением комбинированной технологии наплавки оправок, заключающейся в ЭШН их носков и плазменно-порошковой наплавке наиболее нагруженных участков раскатной поверхности (рис. 5) [25]. Особенность такого технологического процесса состоит в том, что упрочняют лишь часть раскатной поверхности оправки, наплавляя два кольцевых валика. В этом случае обеспечивается повышение стойкости в 1,5–1,7 раза по сравнению со стойкостью инструмента, у которого только носок наплавлен сплавом "Хастеллой-С".

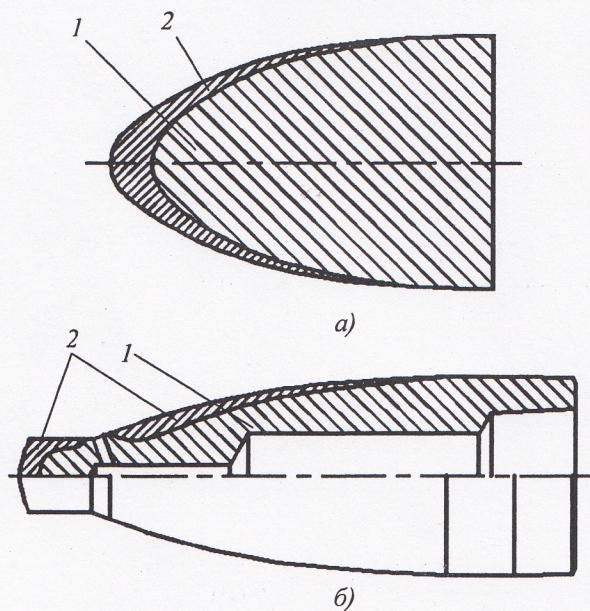
Авторы другой комбинированной технологии [26] наплавляли носок ЭШН жаропрочным сплавом 200ХН70М4Б2, а раскатную поверхность – дуговой наплавкой колеблющимся электродом дисперсионно-твердеющим сплавом 200Х28М7Н2. Показано (рис. 6), что наплавка только сферического участка (около 1/3 части раскатной поверхности), а также и наплавка всей раскатной поверхности оправки отдельными кольцевыми валиками приводят в процессе работы к неравномерной пластической деформации ее поверхности. В этом случае наряду с 1,5–2,0-кратным приростом стойкости оправок по мере их износа снижается качество внутренней поверхности прокатанных заготовок.

Лазерно-порошковая наплавка [27, 28] позволяет формировать композиционный наплавленный металл, содержащий дисперсные карбиды тугоплавких металлов. Толщина композиционного слоя металла изменяется в соответствии с распределением напряжений по длине раскатной поверхности оправки (рис. 7, а). По результатам натурных испытаний наплавленных таким способом неохлаждаемых оправок,



**Рис. 6. Вид изношенных водоохлаждаемых оправок:**  
1 – штатная оправка из стали 20ХН4ФА; 2 – оправка с наплавленными носком и сферической частью раскатной поверхности; 3 – оправка с наплавленным носком и отдельными кольцевыми валиками наплавленного металла на раскатной поверхности; 4 – новая оправка с наплавленным ЭШН носком

изготовленных из стали 40ХНМА, получено 2,5–3-кратное повышение их износостойкости при прошивке заготовок из стали Р18 и Р6М5 [27], а при наплавке водоохлаждаемого инструмента (рис. 7, б) стойкость его повышается в среднем в 4 раза [28].



**Рис. 7. Схема оправок сплошного сечения (а) и полых водоохлаждаемых (б) наплавленных лазерно-порошковым способом:**  
1 – оправка; 2 – наплавленный композиционный слой металла

## Выводы

1. В условиях современного производства высокая износостойкость прошивных оправок может быть достигнута на основе выбора оптимальных режимов прокатки, а также применения эффективных способов упрочнения их тяжелонагруженных участков.

2. Наплавка носков оправок жаропрочными сплавами, а также формирование на раскатной поверхности термостойкого наплавленного металла обеспечивает значительное повышение износостойкости инструмента.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вавилкин Н.М., Бухмиров В.В. Прошивная оправка. М.: МИСиС, 2000. 128 с.
2. Особенности износа водоохлаждаемых оправок при прошивке легированых сталей / Н.М. Вавилкин, В.С. Гончаров, Д.В. Бодров, С.В. Липнягов // Известия вузов. Черная металлургия. 2009. № 7. С. 37–40.
3. Потапов И.Н., Коликов А.П., Друян В.М. Теория трубного производства. М.: Металлургия, 1991. 305 с.
4. Касьян В.Х., Мазур С.В. Влияние температурно-силовых условий деформации на стойкость прошивных оправок // Металлургическая и горно-рудная промышленность. 2003. № 2. С. 57–61.
5. Чикалов С.Г., Фадеев А.П., Коликов А.П. Исследование работы технологического инструмента непрерывного стана ТПА 159-426 // Сталь. 1999. № 3. С. 38–44.
6. Толмачев В.С., Степанов А.И., Губин Ю.Г. Освоение прошивки гильз на стане конструкции ЭЗТМ // Сталь. 2009. № 7. С. 56–58.
7. Рахманов С.Р., Данченко В.Н. Калибровка оправок и оптимизация очага деформации прошивного стана // Сталь. 2009. № 6. С. 53–55.
8. Повышение стойкости оправок стана пресс-валковой прошивки на ТПА 159-426 / А.П. Чучвага, Б.М. Фискин, В.В. Фроловкин, Л.А. Баландина // Сталь. 2000. № 2. С. 51–52.
9. Романцев Б.А., Матыко О.К. Повышение износостойкости оправок прошивного стана // Известия вузов. Черная металлургия. 2008. № 8. С. 16–19.
10. Хавкин Г.О., Бродский В.М., Лисовая Г.В. Сравнительная характеристика водоохлаждаемых оправок прошивного стана, изготовленных различными способами // Сталь. 2004. № 8. С. 60–62.
11. Шапиро И.А., Хавкин Г.О., Бродский В.М. Повышение эффективности использования оправок прошивных станов // Сталь. 2009. № 9. С. 75–76.
12. Применение оправок из стали типа 20ХН8Л для прошивки заготовок из коррозионно-стойких сталей / М.В. Белошапко, Т.Г. Даничек, И.Ю. Коробочкин, П.Д. Мавродий, Г.В. Нестерова // Сталь. 1980. № 12. С. 1088–1089.
13. Высокотемпературное оксидирование оправок прошивного стана / С.И. Македонов, Р.В. Ермакова, В.М. Козлов, В.Н. Данченко, Р.Е. Уварова // Сталь. 1989. № 11. С. 68–70.

14. Бродский У.И., Порохня Г.П., Маламуд А.М. Металлизация носков оправок прошивных станов // Металлург. 1972. № 11. С. 30.
15. Фартушный Н.И., Романцев Б.А., Кузнецов Е.В. Повышение стойкости инструмента прошивного стана // Трубное производство. 2007. № 6. С. 22–25.
16. Бондарчук Н.А., Патока А.И., Маркин Ю.В. Применение проволоки типа ЭП567 для наплавки оправок прошивного стена // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавочные материалы. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1978. С. 104–106.
17. Соколов Г.Н., Михеев А.Н., Павлов А.А. Электрошлаковая наплавка в секционном кристаллизаторе тортцев оправок трубопрошивного стана // Сварочное производство. 2002. № 6. С. 31–34.
18. Соколов Г.Н. Структура и свойства переходной зоны между наплавленным инструментальным металлом и конструкционной сталью // Упрочняющие технологии и покрытия. 2005. № 12. С. 46–50.
19. А.с. 1487259, В 21 В 25/00. Способ изготовления оправок / Г.Н. Соколов, С.В. Товкес, А.П. Чучвага. Опубл. 20.12.2002.
20. Соколов Г.Н., Зорин И.В., Цурихин С.Н. Технология ЭШН оправок трубопрокатного агрегата // Сварщик. 2004. № 1. С. 15.
21. Соколов Г.Н., Маркин Б.В., Чучвага А.П. Совершенствование работоспособности наплавленных оправок трубопрошивного стана // Повышение долговечности и работоспособности наплавленных деталей: сб. науч. тр. Республ. семинара. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. 1989. С. 41–43.
22. Pat. 10024246 DE, B 21 B 25/00. Lochdorn zum Schragwalzen von metallischen Hohlkörpern auf Schragwalzwerken / T. Leisten, F. Salomon. Publ. 22.11.2001.
23. Pat. 1593441 EP, B 21 B 19/04, 25/00. Seamless metal tube producing method / Nakaike Hirotsugu, Shimoda Kazuhiro, Yamakawa Tomio, Anraku Toshiro. Publ. 22.11.2001.
24. Pat. 6202463 US, B 21 B 17/10, 19/04. Plug and mandrel bar for seamless steel pipe rolling operation for manufacturing seamless steel pipe / Yorifushi Akira, Toyooka Takaaki, Kanayama Taro. Publ. 22.11.2001.
25. А.с. 1532107, В 21 В 25/00. Оправка прошивного трубопрокатного стана / Г.А. Поздеев, В.К. Цебратенко, Б.А. Резниченко, Н.А. Бондарчук, А.Т. Николайченко, Н.Д. Подобный. Опубл. 30.12.1989.
26. Соколов Г.Н., Лысак В.И. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей. Волгоград: РПК "Политехник", 2005. 284 с.
27. А.с. 1340843, В 21 В 25/00. Оправка прошивного стана / К.В. Барабадзе, А.Н. Веремеевич, В.М. Друян, И.А. Иванов, Г.В. Каракашвили, М.Н. Крянина, К.Ф. Миленный, В.П. Полухин, Б.А. Романцев, О.В. Слесарев. Опубл. 30.09.1987.
28. А.с. 1491596, В 21 В 25/00. Водоохлаждаемая оправка прошивного стана / К.Ф. Миленный, Б.А. Романцев, К.В. Барабадзе, А.Н. Веремеевич, В.П. Полухин, М.Н. Крянина, Р.Э. Ломидзе. Опубл. 07.07.1989.

Геннадий Николаевич Соколов, д-р техн. наук,  
GNSokolov@yandex.ru;  
Вадим Борисович Литвиненко-Арьков,  
аспирант;  
Владимир Ильич Лысак, д-р техн. наук



## СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА

О.Г. Быковский, В.Р. Петренко, В.В. Пешков

2011. – 336 с. ISBN 978-5-94275-557-7

Цена 500 р.

В справочнике систематизирована информация о свариваемости сплавов на железной основе, технических возможностях известных электродных материалов и способов электрической и газовой сварки, наплавки и напыления сталей и сплавов. Приведены параметры, режимы этих технологических процессов, технические характеристики современного оборудования для ручных и механизированных способов сварки, резки, наплавки и напыления при изготовлении металлоконструкций.

Рассчитан на специалистов, работающих в области сборочно-сварочного производства, будет полезен студентам, обучающимся по специальности "Оборудование и технология сварочного производства" в учебных заведениях всех уровней аккредитации и рабочим-сварщикам.

107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; e-mail: realiz@mashin.ru  
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98.  
WWW.MASHIN.RU