

УДК 621.791.763.2

Исследование свариваемости конструкционных материалов, применяемых для изготовления сепараторов подшипников

Дрижов В. С.^{1,*}, Романов Ю. Г.¹

* vdrizhov@gmail.com

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрены закономерности формирования сварного соединения полусепараторов подшипника, изготовленных из различных конструкционных материалов. Установлено, что введение в состав низкоуглеродистой стали типа 08 алюминия и титана (сталь 08ЮТ) с целью формирования мелкозернистой структуры ухудшает свариваемость при рельефной сварке. Изменение в широком диапазоне параметров режима рельефной конденсаторной сварки (усилия сжатия свариваемых элементов, силы сварочного тока) не позволили получить надежного соединения. Металлографический анализ металла зоны соединения показал, что в центральной области сварной точки общих зерен не образуется - образуется склейка. Данное обстоятельство обуславливает пониженную прочность такого соединения. Показано, что формирование качественного сварного соединения, прочность которого находится на уровне основного металла, возможно только при условии применения стали 08кп.

Ключевые слова: сепаратор подшипника, рельефная сварка, прочность, качество, надежность

Введение

На современном этапе развития промышленного производства одной из главных задач в повышение его эффективности является разработка и широкое внедрение прогрессивных технологических процессов. Комплексные технологии как в настоящее время, так и в перспективе являются стержневыми элементами при обеспечении эффективного и надежного производства [1,2]. В этом плане важными задачами являются, во-первых, выбор оптимального материала для сварной конструкции. Во-вторых, повышение уровня механизации и автоматизации технологического процесса соединения элементов изделия при сборке. Кроме того, производство должно отличаться минимальной стоимостью изготовления.

В подшипниковом производстве к такому технологическому процессу следует отнести сборку сепаратора с применением сварки. Для этих целей разрабатывались технологии на основе различных видов сварки [3,4,5]. Анализ их эффективности показывает, что наиболее целесообразно в этом случае использовать рельефную двухимпульсную конден-

саторную сварку, при которой соединение полусепараторов осуществляется одновременно во всех 8 – 9 точках. Общий вид зоны соединения полусепараторов, полученного по данной технологии, представлен на рис.1.

Металлургическая промышленность выпускает сепараторную ленту из мягкой углеродистой стали 08кп, 08пс, 10кп, 10пс, 08ю. Эти стали относятся к низкоуглеродистым сталям – хорошо свариваемым материалам. Основным требованием, предъявляемым к сварным соединениям из этих сталей, является обеспечение прочностных свойств на уровне основного металла [6]. Однако, следует заметить, что в настоящее время анализу формирования качества сварного соединения из этих сталей в условиях рельефной конденсаторной сварки уделяется недостаточно внимания. При разработке технологических процессов на основе сварки необходимо иметь в виду, что успешное их внедрение на производстве возможно только при условии использования материалов либо с хорошей, либо с удовлетворительной свариваемостью [7].

Данное обстоятельство указывает на то, что выбор оптимального материала для сепаратора под сварку – материала с хорошей свариваемостью должен производиться на основе анализа свариваемости различных материалов, выпускаемых в настоящее время металлургической промышленностью. Кроме того, следует обратить внимание и на то, что качество сварного соединения (сварной конструкции) в существенной мере формируется в процессе сварки и зависит от параметров режима сварки.



Рис. 1 Внешний вид зоны сварного соединения сепаратора подшипника

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что успешное использование на производстве сварочной технологии должно базироваться, во-первых, на исследовании свариваемости используемых материалов. Во-вторых, на анализе влияния параметров режима сварки на качество соединения. Результатом таких исследований должен быть выбор оптимального материала и оптимальных параметров режима сварки.

При выборе режимов сварки необходимо иметь в виду, что многоточечная рельефная сварка имеет ряд особенностей. Во-первых, величина осадки в каждой точке должна быть одинаковой и, во-вторых, во всех точках должен быть гарантированный провар. Эти условия достигаются за счет равномерного распределения сварочного тока между ветвями, а

также за счет равномерного распределения усилия сжатия между рельефами. Данное условие должно выполняться как за счет электрической части оборудования, так и за счет применения специального сварочного приспособления.

Следует обратить внимание и на то, что исходный разброс сопротивлений контактов деталь-деталь не оказывает существенного влияния на распределение сварочного тока при рельефной сварке. Это обстоятельство обусловлено большим удельным давлением и высокой плотностью тока в контактах рельеф - плоскость.

Исследование свариваемости полусепараторов, изготовленных из стали 08ЮТ

С целью выявления влияния на качество сварного соединения химического состава металла свариваемых элементов, а также параметров режима сварки были проведены исследования на полусепараторах, изготовленных из стали 08ЮТ.

Химический состав стали 08ЮТ представлен в таблице № 1, для сравнения приведен также и химический состав стали 08кп.

Таблица № 1

Сталь	С	Si	Mn	Al	Ti	Не более				
						S	P	Cr	Ni	Cu
08кп	0,05-0,11	≤0,03	0,25-0,50	-	-	0,04	0,04	0,1	0,25	0,25
08ЮТ	0,05-0,12	≤0,07	0,25-0,50	0,01-0,09	0,01-0,09	0,035	0,02	0,05	0,1	0,15

Как видно из таблицы сталь 08ЮТ отличается от стали 08кп содержанием алюминия и титана. Кроме того, в химическом составе стали 08ЮТ содержится большее количество углерода и кремния. Необходимо отметить, что в сталях 08пс, 10кп, 10пс также имеет место повышенное содержание кремния и углерода. Данное обстоятельство позволяет в первом приближение распространить результаты проведенных исследований и на эти стали.

Проведенные металлографические исследования показали, что в исходном состоянии металл полусепараторов из стали 08ЮТ имеет ферритное зерно, соответствующее 9 баллу, структурно-свободный цементит, соответствует баллу 2.

Следует обратить внимание на то, что величина зерна металла полусепаратора из стали 08кп (7 балл) в исходном состоянии больше, чем у стали 08ЮТ (рис.5).

Необходимо отметить, что сталь 08ЮТ относится к наследственно мелкозернистым сталям. Это обстоятельство обусловлено несколькими факторами [8]:

- наличие элементов, уменьшающих склонность к росту зерна (к таким элементам относятся алюминий, титан, молибден, ванадий и вольфрам);
- способ производства стали и метод ее раскисления.

Известно, что разные плавки стали одной и той же марки обладают разной способностью к росту зерна, то есть имеют разную наследственную зернистость. Сталь, раскис-

ленная только ферромарганцем (кипящая сталь) – наследственно крупнозернистая сталь (08кп), а сталь, раскисленная марганцем и алюминием – мелкозернистая (08сп).

Алюминий по теории барьеров, введенный в жидкую сталь до ее разливки по изложницам, образует с растворенным в жидкой стали азотом частицы нитридов – AlN. Это соединение растворяется в жидкой стали, а после ее кристаллизации и последующего охлаждения выделяется в виде мельчайших субмикроскопических частиц («неметаллическая пыль»). Последние, располагаясь преимущественно по границам зерен, препятствует его росту.

Наследственно мелкозернистая сталь не склонна к перегреву, то есть интенсивный рост зерен начинается при значительно более высокой температуре, чем у наследственно крупнозернистой.

Исследования свариваемости стали 08ЮТ проводились при следующих условиях:

1. Толщина ленты полусепаратора – 1,2 мм.
2. Количество одновременно свариваемых точек – 8шт.
3. Условия сварки (диапазоны изменения параметров сварки):
 - усилия сжатия электродов - $F_{сж} = 8 - 16$ кН;
 - напряжение зарядки конденсаторных батарей – $U = 700-950$ В.

Оценка качества сварного соединения проводилась по следующим критериям:

4. По уровню прочности сварной точки при растяжении (качественным соединением считается такое соединение, у которого прочность сварных точек находится на уровне основного металла);
5. По наличию или отсутствию выплеска металла (оптимальный режим характеризуется отсутствием выплеска металла как на начальном, так и на заключительном этапах сварки).

За базовый показатель свариваемости бала выбрана свариваемость стали 08кп. Данный выбор обусловлен тем, что при сварке данной стали на оптимальных режимах, удается сформировать качественное сварное соединение полусепараторов, склеек в сварном соединении обнаружено не было. Прочность в этом случае находится на уровне основного металла (рис.3).

Оптимальные параметры режима сварки полусепараторов из стали 08кп приведены в таблице № 2 [5]. Толщина сепараторной ленты - 1,2+1,2мм

Целью исследований явилось определение оптимальных параметров режима сварки (сварочного усилия сжатия электродов и напряжения зарядки конденсаторных батарей), при которых прочность соединения находилась бы на уровне основного металла и отсутствует выплеск.

Результаты исследования свариваемости полусепараторов из стали 08ЮТ представлены на рис. 2. Цифры в скобках указывают количество склеек в сварном соединении (всего сварных точек – 8шт).

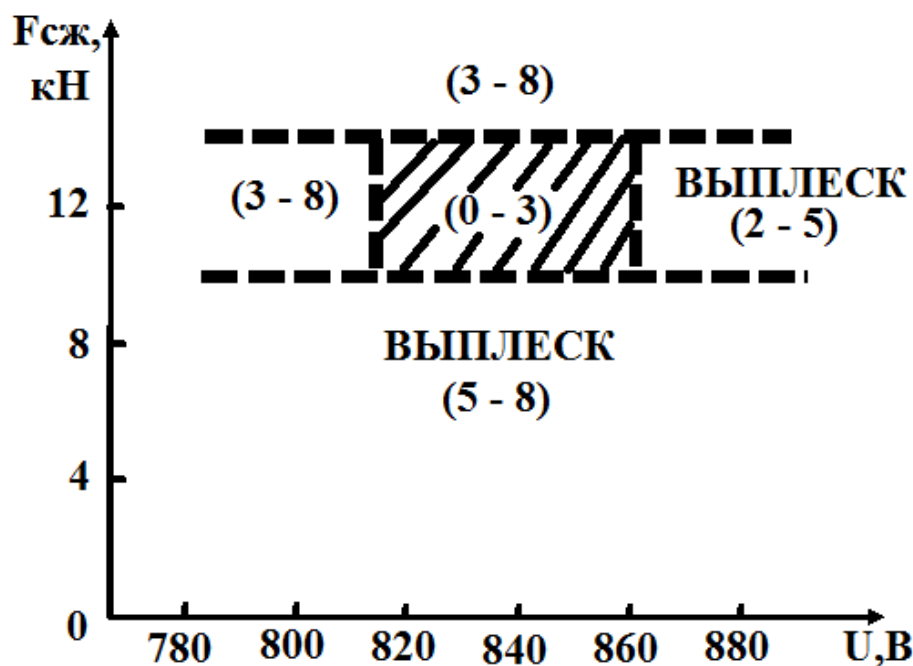


Рис. 2 Влияние усилия сжатия электродов ($F_{сж}$) и напряжения зарядки конденсаторных батарей (U) на качество сварного соединения полусепараторов из стали 08ЮТ (заштрихованная область – область оптимальных параметров режима сварки)

Таблица № 2

№	Элементы сварочного цикла	Время	Усилие сжатия	Ток кА
		С	Н	
1	Сжатие электродов	0,8	6000	
2	Первый импульс сварочного тока	0,04	6000	32
3	Пауза между импульсами	0,2	6000	
4	Второй импульс сварочного тока	0,05	6000	29
5	Проковка	0,41	6000	
6	Опускание и подъем электродов	0,7	6000	

Проведенные исследования показали, что при широком диапазоне изменения сварочного тока и усилия сжатия электродов гарантированную прочность сварных точек на уровне основного металла получить не удалось. Наиболее приемлемый диапазон параметров режима сварки находится в области, ограниченной по усилию $F_{сж} = 10 - 14$ кН и по напряжению $U = 815 - 860$ В (заштрихованная область на рис.2). В этой области сварное соединение имеет минимальное количество склеек – $0 \div 3$ из 8 сварных точек.

Для сравнительной оценки на рис. 3 представлены значения прочности соединения, полученного клепкой и сваркой. Как видно из рисунка при сварке полусепараторов из стали 08ЮТ, в случае, когда образуется склейка, прочность сварного соединения существенно ниже.

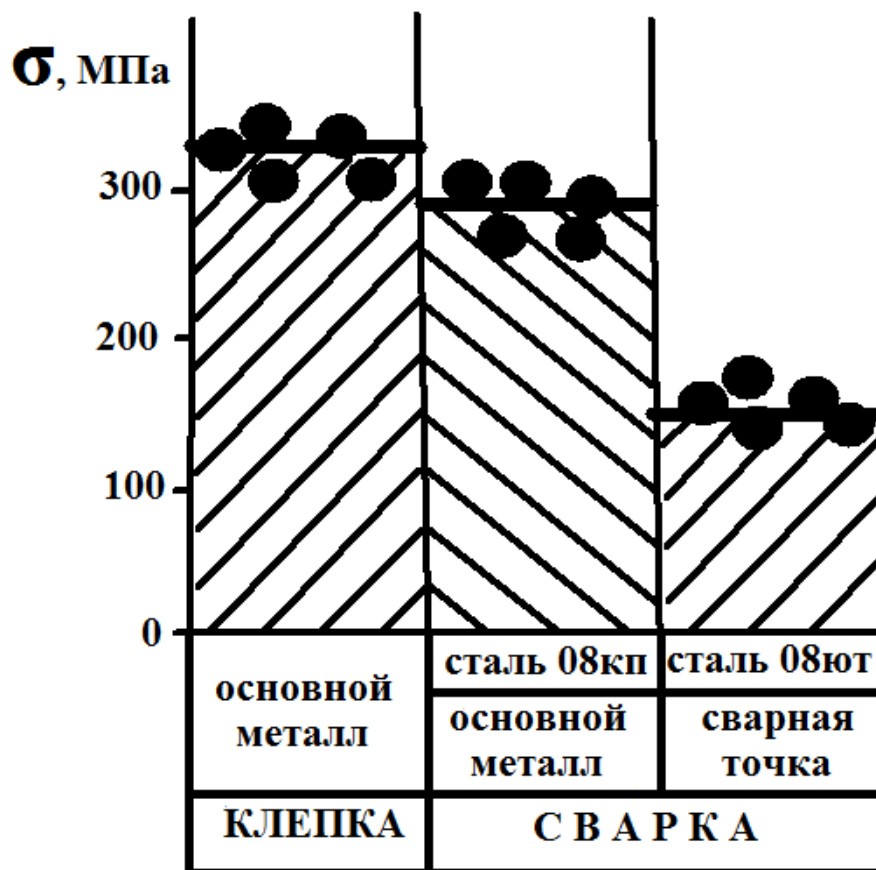


Рис. 3 Прочность соединения полусепараторов подшипников

Влияние на качество сварного соединения усилия сжатия электродов

При усилии сжатия электродов ниже 10 кН при сварке возникает выплеск, а в сварном соединении образуется 5 ÷ 8 склеек. Как показано в работе [9] при рельефной сварки низкоуглеродистых сталей снижение давления при сварке приводит как к более интенсивному нагреву, так и к начальным выплескам металла.

При сварке с усилием выше 14кН образуется не прочное сварное соединение, состоящее из 3 ÷ 8 склеек.

Это обстоятельство объясняется тем, что с ростом усилия на электродах сечение начального пути тока расширяется, критическое значение сварочного тока (т.е. такое, при котором можно получить шов со стабильной прочностью) увеличивается. Кроме того, с ростом усилия увеличивается предварительное сплющивание рельефов, что вызывает уменьшение начальной плотности сварочного тока. При недостаточной длительности импульса в этом случае наблюдается снижение объема расплавленного металла и, как следствие, уменьшение прочности сварной точки. Для того чтобы получить высокую прочность соединения необходимо увеличить величину сварочного тока или продолжительность его действия. Следует также обратить внимание на то, что на величину предварительного сплющивания рельефа оказывает существенное влияние его жесткость, т. е. его геометрические размеры (форма).

В зависимости от усилия, действующего на рельеф, как показывают исследования в работе [10], меняется схема пути тока через зону соединения. При значительном усилии большее количество теплоты выделяется «в зоне прилегания» и меньшее – в «зоне внедрения». При этом центральная зона нагревается за счет теплопередачи.

С уменьшением усилия «зона прилегания» уменьшается, а при малых усилиях сжатия может и совершенно отсутствовать. Нагрев начинается в «зоне внедрения» и распространяется к периферии.

При использовании стали 08ЮТ происходит быстрое смятие рельефа, что приводит к увеличению «зоны прилегания». В соответствии с этим ток идет по периферии, разогревая эти зоны и за счет теплового расширения разводит центральную часть. Данное явление приводит к невозможности возникновения прочных металлических связей в центре соединения (рис. 5 «б»). Прочность соединения в этом случае будет не высокой (при сварке имеет место повышенная площадь контакта). Данное явление можно объяснить и тем, что за счет затруднения радиальной пластической деформации в зоне предварительного контакта нет разрушения оксидов.

Влияние на качество сварного соединения напряжения зарядки конденсаторных батарей (силы сварочного тока)

Как видно из рис.2 слева от оптимальной области режимов сварки ($U < 815В$) в сварном соединении образуется не прочное соединение – 3-8 склеек, справа – при $U > 860В$ образуется выплеск металла, кроме того прочность также находится на низком уровне – 2 – 5 склеек.

С целью анализа влияния структуры металла на качество сварного соединения были проведены металлографические исследования. Проводился анализ как микро -, так и макроструктуры металла зоны сварного соединения. Результаты анализа представлены на рис. 4 и 5.

Микрошлифы изготавливались в плоскости продольного сечения сварной точки полусепаратора. Как видно из рис.4 зона сварного соединения расположена симметрично по отношению к полусепараторам. Такая структура указывает на равномерный нагрев двух полусепараторов в зоне контакта и характерен для случая контактной точечной сварки – случая, когда рельеф сминается на первоначальном этапе разогрева.

Необходимо также отметить, что электрическое сопротивление полусепаратора с рельефом в 1,5-2,5 раза больше, чем электрическое сопротивление полусепараторов без рельефа. Данное явление приводит к выделению тепла в основном в полусепараторах с рельефом на контакте деталь-деталь. В соответствии с этим на начальной стадии процесса идет расплавление рельефа, а полусепаратор без рельефа только нагревается. Структура сварного соединения в этом случае должна характеризоваться асимметрией по отношению к границе. Как видно из рис. 4 формирование такой структуры при сварке полусепараторов из стали 08ЮТ не происходит.



Рис. 4 Макроструктура зоны сварного соединения сепаратора из стали 08ЮТ

В результате проведенных металлографических исследований сварного соединения полусепаратора из стали 08ЮТ установлено, что между двумя полусепараторами видна четкая граница, обозначенная темной линией (рис. 5 «б»). Данное обстоятельство указывает на то, что между атомами, расположенными на поверхностях полусепараторов, нет прочных связей - в этой зоне образуется склейка. Металлографические исследования, проведенные в работе [9] показали, что при рельефной сварки низкоуглеродистых сталей центральная зона не имеет четких признаков литой дендритной структуры. Это указывает на то, что формирование сварного соединения при сварке происходит с пластической деформацией зоны контакта.

Данное явление и обуславливает пониженную прочность соединения на разрыв. Необходимо обратить внимание на то, что в этой зоне при сварке полусепараторов из стали 08кп такого разделения нет (рис. 5 «в»).

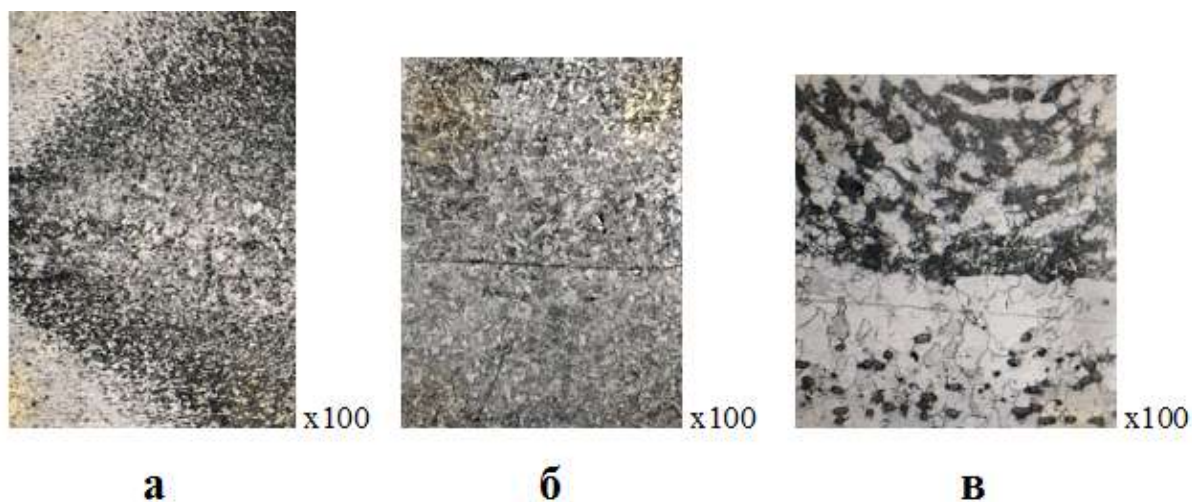


Рис. 5 Микроструктура в зоне сварного соединения сепаратора: а – на краю сварной точки сталь 08ЮТ; б – в центре сварной точки сталь 08ЮТ; в - в центре сварной точки сталь 08кп.

Полученные результаты исследований свариваемости стали 08ЮТ показали, что добиться стабильного качества сварного соединения полусепараторов подшипников с помощью рельефной конденсаторной сварки не удастся.

Увеличение содержания углерода, кремния и алюминия в составе металла, а также уменьшение размера зерна отрицательно влияет на прочность сварного соединения, полученного рельефной сваркой. При данном способе сварки получить прочность сварного соединения на уровне основного металла удастся только при содержании кремния не более 0,04% и размере зерна металла не выше 9 балла. В случае невыполнения данных требований, в зоне соединения образуется склейка, прочность которой находится на низком уровне - всего 30% от прочности основного металла.

В связи с вышеизложенным возможность применения полусепараторов из стали 08ЮТ в технологическом процессе сборки подшипников на основе рельефной конденсаторной сварки может быть обоснована только путем определения с помощью стендовых и натурных испытаний гарантированной минимальной прочности сварного соединения, при котором работоспособность подшипника не уменьшается. Полученное значение минимального уровня прочности принимается за приемочный критерий качества сварного соединения в технологическом процессе соединения полусепараторов. Данное обстоятельство указывает на то, что без дополнительного обоснования необходимого минимального уровня прочности применять их для изготовления полусепараторов под сварку не целесообразно.

В заключение необходимо отметить, что многие дефекты, возникающие при сварке, носят скрытый характер и раскрываются в процессе эксплуатации готового изделия.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что для обеспечения высокой надежности работы следует уделять особое внимание решению задач, связанных с контролем качества сварного соединения. Успешное решение данной задачи возможно при условии разработки и внедрения на производстве эффективной и надежной системы управления качеством, которая позволит уменьшить вероятность образования разрушений, возникающих как в процессе сварки, так и в процессе эксплуатации [11]. Современные системы качества должны соответствовать требованиям стандартов серии ISO 9000 и ГОСТ Р ИСО 15614-12 – 2009.

Заключение

В результате проведенных исследований показано, что введение в состав низкоуглеродистой стали типа 08 алюминия и титана с целью получения более мелкозернистой структуры металла отрицательно влияет на качество сварного соединения, полученного с помощью рельефной конденсаторной сварки.

Формирование качественного сварного соединения, прочность которого находится на уровне основного металла, возможно только при условии применения стали 08кп. Изготовление сепараторов под рельефную конденсаторную сварку из сталей 08ЮТ, а также из сталей с повышенным содержанием кремния - 08пс, 10кп, 10пс не позволяет получить надежное соединение. При сварке в этом случае образуется склейка, прочность которой составляет только 30% от прочности качественного соединения.

Список литературы

1. Маддельдорф К., Фон Хофе Д. Тенденции развития технологий соединения материалов // Автоматическая сварка. 2008. №11. С.39-47
2. Дилтой У. Сварка и соединение – ключевые технологии третьего тысячелетия // Автоматическая сварка, 2008, №11, С 101-107
3. Кудлай В.А. И., Березовский В.Н., Болгов Э.И., Гракун В.Ф., Кузнецов Э.А., Есенович В.Д. Многоточечная электроннолучевая сварка сепараторов шарикоподшипников // Автоматическая сварка. 1983. №6. С. 59-61
4. Григорьянц А.Г., Гусев А.А., Зайчиков Е.Г. Лазерная сварка змейковых сепараторов подшипников // Сварочное производство. 1997. №5. С. 21-23.
5. Дрижов В.С., Иванов А.И., Степанов А.И. Автоматическая сварка на автомате АВК для соединения полусепараторов шарикоподшипников // Сварочное производство. 1989. №3. С. 7-9.
6. Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. Теория свариваемости сталей и сплавов, М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014, 487с
7. Дерломенко В. В., Ющенко К. А., Савченко В. С., Червяков Н. О. Технологическая прочность и анализ причин ухудшения свариваемости и образования трещин // Автоматическая сварка. 2010. №9. С. 26-30
8. Арзамасов Б.Н., Макарова В.Н., Мухин Г.Г., Рыжов Н.М., Силаев В.И. Металловедение: учебник для вузов. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. 646 с.
9. Кучук-Яценко В.С., Наконечный А.А., Гавриш В.С., Чернобай С.В. Технология рельефной сварки деталей больших толщин с Т-образными соединениями // Автоматическая сварка. 2012, №8, С45-47.
10. Рудман М.Д. Влияние теплового расширения металла на процесс рельефной сварки // Автоматическая сварка. 1960. №2. С.14-16
11. Панин В.Н. Сертификация сварочного производства // Сварочное производство. 2012. №3. С.50-55.
12. ГОСТ Р ИСО 15614-12-2009 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Проверка процедуры сварки. Часть 12: точечная, шовная и рельефная сварка. М.: Стандартинформ, 2011. 12 с.

A Weldability Study of Structural Materials for Manufacturing Bearing Separators

V.S. Drizhov^{1,*}, Yu.G. Romanov¹

[*vdrizhov@gmail.com](mailto:vdrizhov@gmail.com)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: bearing separator, projection welding, strength, quality, reliability

The aim is to analyze the possibility for using the 08YUT steel separator tape to manufacture separators, which are to be further applied to the bearing assembly via projection welding.

Reliability of rolling bearings is determined by many factors such as surface quality of balls and rings and assembly precision, including the seal strength of hemiseparators.

The technology based on the double-pulsed condenser projection welding belongs to one of the most efficient technologies to provide the assembly of bearing, for it allows welding of separator simultaneously in all currents. The paper shows that the required condition to assure high reliability of the bearing is industrial development and implementation of an effective and positive quality control system, which will reduce the probability of damages occurring both when welding and in the course of operation.

The work used the static tensile test methods, as well as metallographic analysis.

The experimental study used the 08YUT steel hemiseparators. A tape thickness of the hemiseparators was of 1.5mm. The number of simultaneously welded points were 8.

The experimental studies of the metal damage of welding joints of the the 08YUT steel separator have shown that with a wide range of the changing welding current and compressed electrode force the quality assurance of welding points at the parent metal level could not be retrieved.

The metallographic analysis of the metal damage nature of a welded joint revealed that between the atoms on the surfaces of hemiseparators there are no strong bonds – a bond was formed in the contact zone. This phenomenon leads to reduced tensile seal strength.

The study has shown that aluminum and titanium added to the low-carbon steel in order to have a more fine-grained metal structure has a negative effect on the quality of welded joint via projection welding.

References

1. Maddeldorf K., Fon Hofe D. Trends in joining technology. *Avtomaticheskaya svarka = Automatic Welding*, 2008, №11, pp.39-47. (in Russian).

2. Dilthey Y. Welding and joining – key technologies for the third millennium. *Avtomaticheskaya svarka=Automatic Welding*, 2008, №11, pp.101-107. (in Russian).
3. Kudlay V.A., Berezovsky V.N., Bolgov E.I, Grakun V.F., Kuznetsov E.A., Esenovich V.D. Multipoint electron beam welding ball separators. *Avtomaticheskaya svarka=Automatic Welding*, 1983, No.6, pp.59-61. (in Russian).
4. Grigor'yants A.G., Gusev A.A., Zaychikov E.G. Laser welding kite bearing cages. *Svarochnoe proizvodstvo=Welding production*, 1997, No.5. pp. 21-23. (in Russian).
5. Drizhov VS, Ivanov AI, StepanovA.I. Automatic welding on the machine to connect the AVC poluseparatorov ball. *Svarochnoe proizvodstvo=Welding production*, 1989, No.3. pp. 7-9.(in Russian).
6. Makarov E.L., Iakyshin B.F. *Theory of Weldability metals*. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014, 487 p. (in Russian).
7. Derlomenko V. V., Yushchenko K. A., Savchenko V. S., Chervyakov N. O. Technological strength and analysis of causes of weldability degradation and cracking. *Avtomaticheskaya svarka=Automatic Welding*, 2010, №9, pp. 26-30. (in Russian).
8. Arzamasov B.N., Makarova V.I., Muhin G.G., Ryzhov N.M., Silaev V.I. *Metallurgical*. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2004, 646 p. (in Russian).
9. Kuchuk-Yatsenko V.S., Nakonechny A.A., Gavrish V.S., Chernobay S.V. Technology projection welding thick workpieces with T-connections. *Avtomaticheskaya svarka=Automatic Welding*, 2012, No.8, pp. 45-47. (in Russian).
10. Rudman M.D. Influence of thermal expansion of the metal in the process of projection welding. *Avtomaticheskaya svarka=Automatic Welding*, 1960, No.2, pp.14-16. (in Russian).
11. Panin V.N. Certification of welding production. *Svarochnoe proizvodstvo=Welding production*, 2012, No.3, pp.50-55. (in Russian).
12. ISO 15614-12-2009 *Tekhnicheskie trebovaniya i attestatsiya protsedur svarki metallicheskih materialov. Proverka protsedury svarki. Chast' 12: tochechnaya, shovnaya i rel'efnaya svarka* [Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Welding procedure test. Part 12: Spot, seam and projection welding (IDT)]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 12 p. (In Russian)).