

УДК 669.715:621.78

Структура и свойства сварных тонколистовых соединений из алюминиевых сплавов

*Мищук Л.Н., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Материаловедение»*

*Научный руководитель: Пучков Ю.А., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru*

Повышенная скорость нагрева и охлаждения являются причинами образования трещин в тонколистовых сварных конструкциях из алюминиевых сплавов. Образование трещин в этом случае возможно даже в случае применения лазерной сварки, отличающейся низким тепловложением и позволяющей получать узкие сварные швы, при кристаллизации которых усадка и возникающие в шве и околошовной зоне растягивающие напряжения минимальны [1]. Выявление причин образования трещин осложнено, поскольку при сваривании происходит: нагрев, плавление, кристаллизация и охлаждение металла. Все эти процессы протекают в различных участках зоны сварки одновременно.

Целью данной работы является исследование причин и природы возникающих трещин в тонколистовых сварных соединениях из алюминиевых сплавов при лазерной сварке.

Материалом сварных соединений служили листы толщиной от 1 до 3 мм из алюминиевых сплавов АМц, АМг3, АМг6, АСВ-1 (см. таблицу). Сварные соединения в виде тавра, тавра на шипах, уголка, уголка на шипах, крестовины (Рис. 1) были получены, применяя автоматизированную лазерную установку LRS-300AU, рабочим инструментом которой является сфокусированный луч импульсного твердотельного лазера, работающего в режиме свободной генерации. Соединения в виде тавра на шипах, уголка получены односторонней сваркой; тавра - двусторонней сваркой, а крестовины - сваркой с четырех сторон, т.е. шов и околошовная зона в этих случаях подвергались как минимум двукратному нагреву и охлаждению. Основные направления теплоотвода из сварного шва, изображенные стрелками на схеме (рис. 2), обуславливают направления преимущественного роста

кристаллитов, образующихся при охлаждении из жидкого состояния. Полученные образцы исследовали металлографическим, дюротометрическим и фрактографическим методами с применением микроскопов Olympus SZ61, GX51, микротвердомера DuraScan и сканирующего микроскопа TESCAN VEGA 2 LMH.

Сплав	Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti	Cr	V
АМц	Остальное	До 0,15	До 0,2	1,0 – 1,6	0,7	До 0,6	0,1	До 0,2	–	–
АМг3	Остальное	До 0,1	До 3,8	0,3 – 0,6	0,5	0,8	0,2	До 0,1	0,05	–
АМг6	Остальное	До 0,1	До 6,8	0,5 – 0,8	0,4	0,4	0,2	0,10	–	–
АСВ-1	Остальное	–	0,5 – 0,8	1,8	–	–	0,6	0,6	0,5	0,6

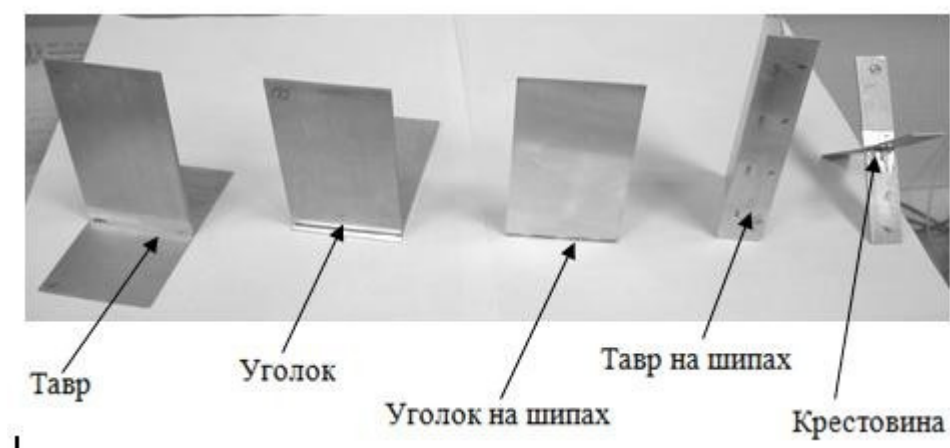


Рис. 1. Внешний вид сварных соединений, полученных лазерной сваркой

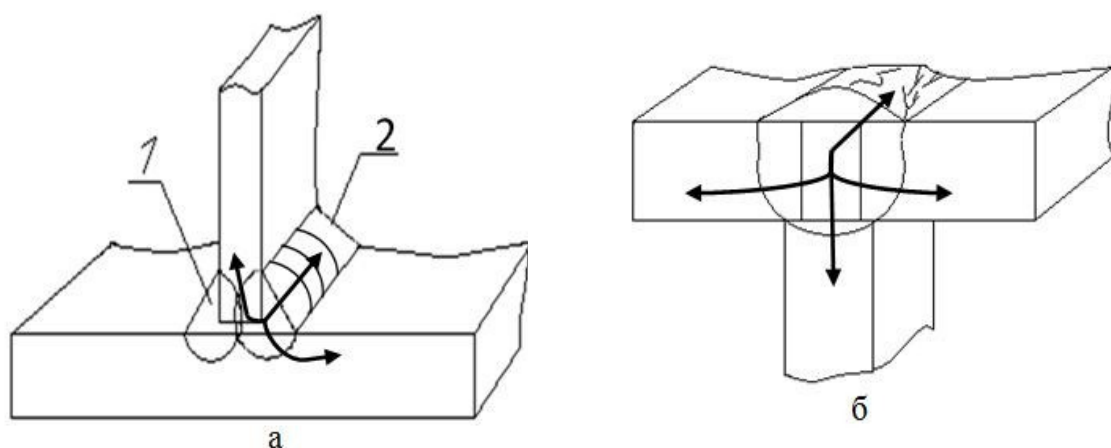


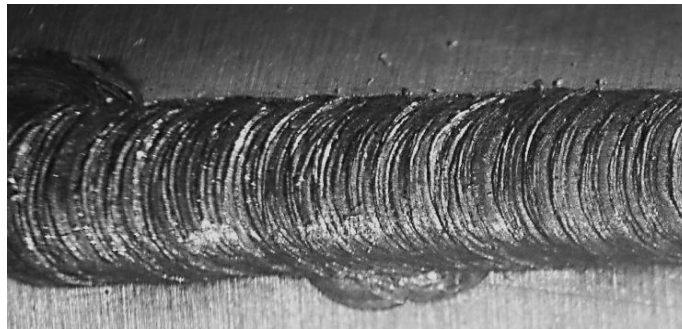
Рис. 2. Направления тепловых потоков при охлаждении сварных соединений разного типа: а – тавр, б – тавр на шипах

Исследования макроструктуры, выполнены при увеличении 20 – 50 крат на микроскопе Olympus SZ61, показали, что наряду с качественными сварными соединениями (Рис. 3) при недостаточно тщательно выбранных режимах сварки в шве и околошовной зоне возможно появление дефектов в виде трещин, пор и оксидных пленок.

Трещины узкие, имеют преимущественно продольный характер, наиболее вероятны в начале (Рис. 3) и завершении сварного шва, однако их образование наблюдается также в шве (Рис. 5) и зоне термического влияния.

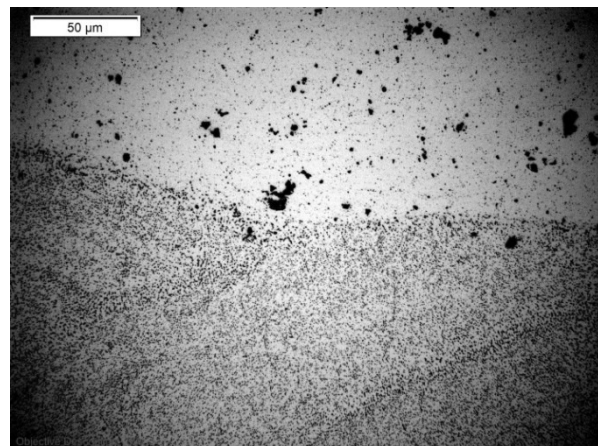
Характерная шаровидная форма пор указывает на их водородное происхождение. Наибольшее количество пор наблюдается в начале и завершении шва. В ряде случаев поры спровоцировали образование трещин (Рис. 4).

При недостаточно тщательной подготовке поверхности и нарушении режима подачи инертного газа в сварной шов могут попадать пленки оксидов, способствующих образованию водородных пор и ухудшающих перемешивание металла в сварной ванне.



а

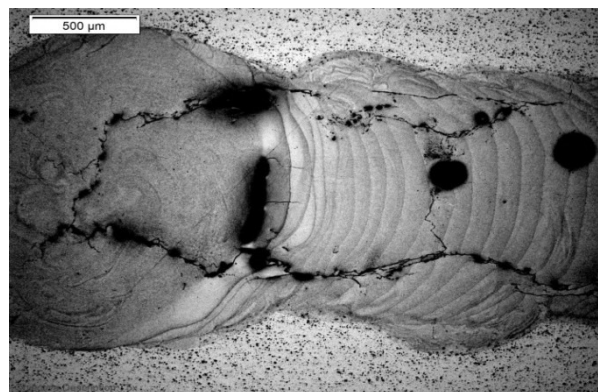
x20



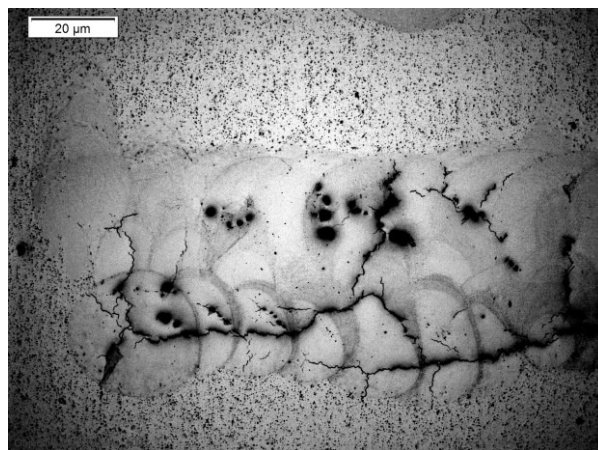
б

x1000

Рис. 3. Макро (а) и микроструктура (б) сварного соединения типа «Уголок на шипах» из сплава АМг6



а



б

Рис. 4. Трещины и поры в сварных соединениях.

а – начало шва в соединении «Тавр на шипах» из сплава АМц, х50,

б – участок шва в соединении «Тавр» из сплава АМг3, х50

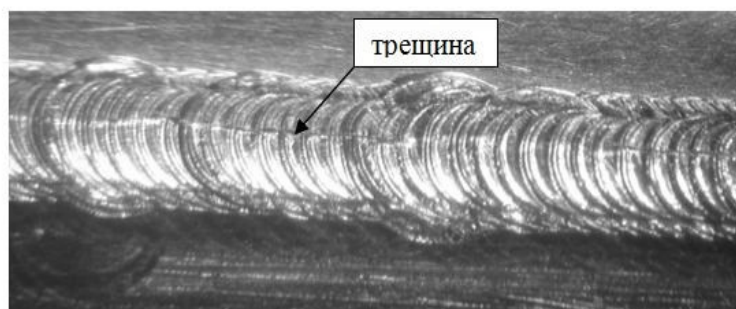


Рис. 5. Продольная трещина в сварном шве соединения типа «Уголок» из сплава АСВ-1, х20

Для оценки склонности к образованию трещин рассчитывали отношение суммы длин трещин $L_{тр}$ на участке шва к длине этого участка $L_{шва}$. Из рассмотренных сплавов самую высокую склонность к образованию трещин показал наиболее легированный сплав АМг6, самую низкую – наименее легированный сплав АМц. Сплавы АМг3 и АСВ-1 имеют приблизительно одинаковую склонность к образованию трещин (Рис. 6). Наименьшая склонность к образованию трещин наблюдается в соединении «Тавр на шипах», полученном в результате однопроводной сварки, в остальных соединениях склонность к образованию трещин выше, так в этих соединениях часть сварных швов или их отдельных

участков подвергаются повторному нагреву и охлаждению.

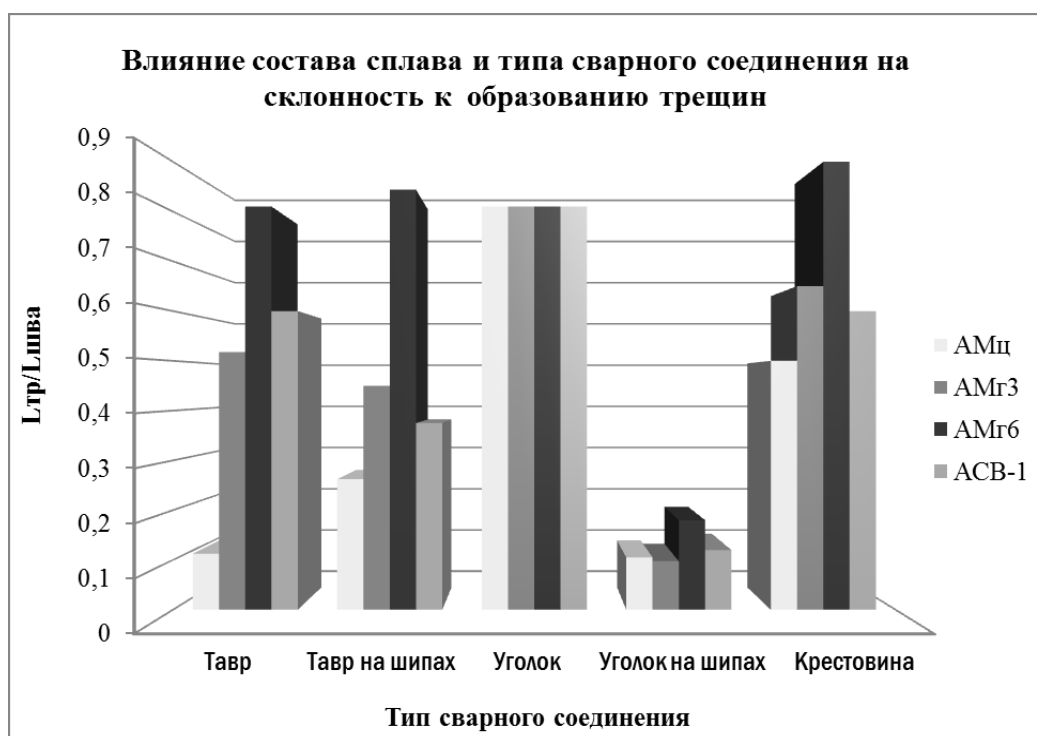


Рис. 6. Диаграмма зависимости склонности к образованию трещин от марки алюминиевого сплава и типа сварного соединения

Металлографическим методом показано, что шов состоит из дендритов первого порядка, так, высокие скорости охлаждения не позволяют сформироваться дендритам второго порядка. Дендриты имеют ячеистую структуру, формирующуюся в результате пластической деформации во время температурного цикла сварки. На границах ячеек в процессе охлаждения, повторного нагрева образуются мелкие включения интерметаллидов. Трещины преимущественно распространяются по границам дендритов, на границах которых в зависимости от степени легированности сплава, условий охлаждения при сварке и кратности повторного нагрева появляется или сегрегация легирующих элементов или образуется сетка из хрупкой интерметаллидной фазы [2, 3].

Увеличение склонности к образованию трещин увеличивается с ростом твердости металла и сплава (рис. 7 – 9).

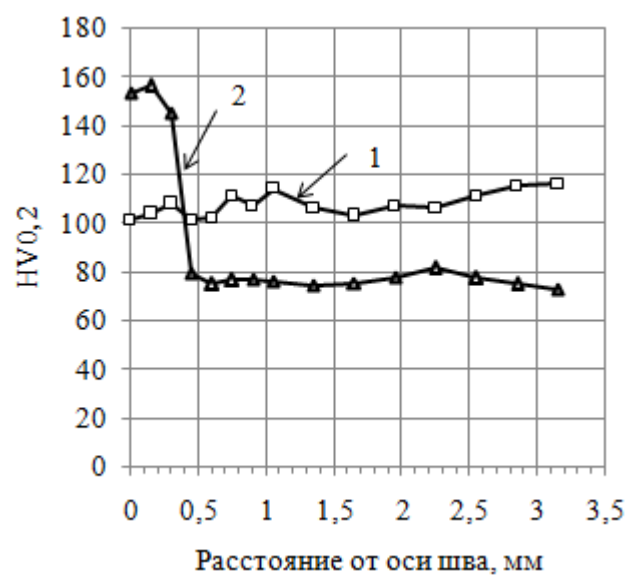


Рис. 7. Микротвердость АМгЗ: 1 – без покрытия, 2 – с покрытием (химическое никелирование)



Рис. 8. Микротвердость АСВ: 1 – без покрытия, 2 – с покрытием (химическое никелирование)

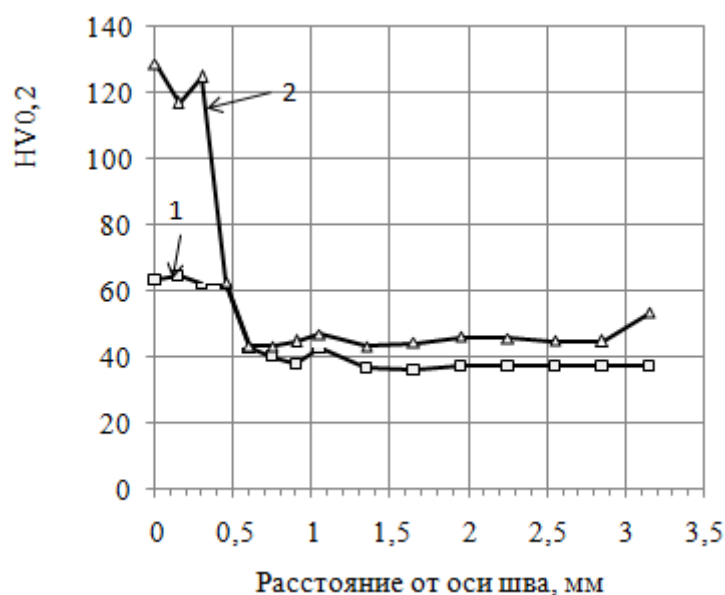


Рис. 9. Микротвердость АМгб: 1 – без покрытия, 2 – с покрытием
(химическое никелирование)

Фрактографическим методом с использованием электронной сканирующей микроскопии показал, что в околошовной зоне, а при повторном нагреве и в шве, образуются преимущественно ликвационные трещины, которые являются разновидностью горячих трещин. Ликвационные трещины образуются в результате локального расплавления легкоплавкой эвтектики на границах дендритов шва, зерен ЗТВ, и пластического деформирования напряжениями, возникающими при сварке. Они могут возникать в ЗТВ в сварных соединениях, полученных за один проход, а также в шве и ЗТВ при использовании нескольких проходов. На Рис. 4б отчетливо видны два шва, один из которых, узкий, образовался в результате второго прохода по обратной стороне листа, что вызвало в последнем образование трещин. Высокая скорость охлаждения при лазерной сварке способствует образованию одноосных дендритов на оплавленных границах и формированию плоского фронта кристаллизации. Складки на формирующейся поверхности кристаллизации появляются под действием напряжений, возникающих при сварочном цикле. Таким образом, ликвационные трещины приобретают характерную плоскую поверхность с имеющимися на ней складками. По внешнему виду они существенно отличаются от горячих трещин, образующихся при охлаждении из жидкого состояния со средними скоростями, характерными для TIG и MIG сварки и имеющими на поверхности множественные округлые дендриты второго порядка.

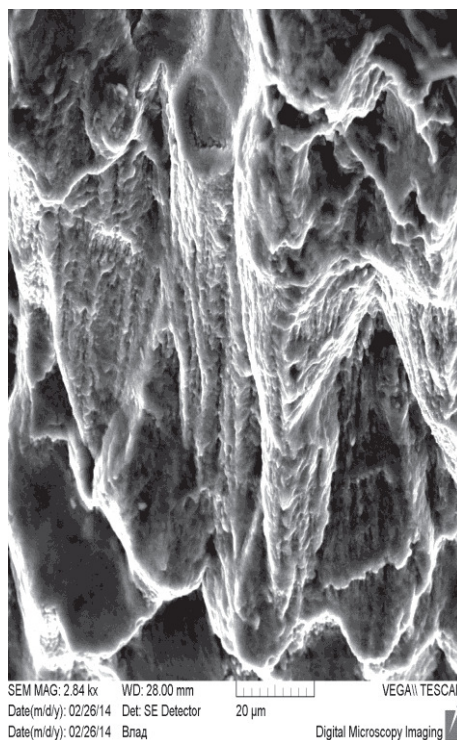
Ликвационные трещины наблюдали преимущественно в сварных соединениях, которые получали за несколько проходов, когда трещины возникали в сварном соединении при его повторном нагреве в результате выделения тепла при наложении следующего шва, находящегося в непосредственной близости и отделенного узким листом из теплопроводного алюминиевого сплава (рис. 2, 4б).

Важным фактором, способствующим образованию горячих трещин в соединениях, полученных лазерной сваркой, является ее скорость. Собирательная рекристаллизация, развивающейся при повышенной температуре в пластически деформированном металле ЗТВ, также способствует образованию горячих трещин в зоне термического влияния является.

Из рассмотренных сплавов наибольшая доля вязкой составляющей излома с характерным ямочным рельефом наблюдается в сварных соединениях из сплава АСВ-1.



а



б

Рис. 10. Топография поверхности трещины в соединениях, полученных лазерной сваркой: а – ликвационная в ЗТВ соединения типа «Тавр» из сплава АМгЗ,

б - горячая в шве в соединении типа «Уголок на шипах» из сплава АМг6

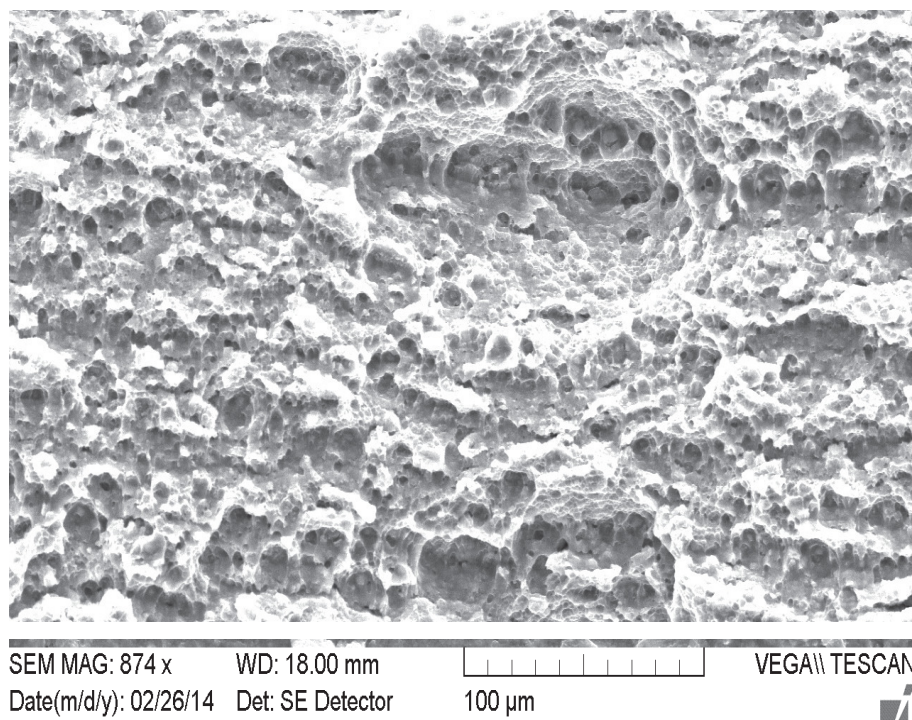


Рис. 11. Вязкий излом с ямочным рельефом на поверхности долома вблизи трещины в сварном соединении «Крестовина» из сплава АСВ-1

Выводы

Дефектами сварных тонколистовых соединений, полученных методом лазерной сварки, являются горячие трещины, а также водородные поры и оксидные пленки, способствующие их образованию.

Трещины имеют преимущественно ликвационный характер и образуются в основном при повторном нагреве шва при многопроходной сварке.

При повышенных скоростях сварки, уменьшается тепловложение, а, следовательно, увеличивается скорость охлаждения. При этом на границах дендритов и зерен снижается уровень сегрегации или уменьшается количество легкоплавкой эвтектики, что приводит к снижению склонности к образованию трещин.

Список литературы

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: учебное пособие для вузов / под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.

2. Шиганов И.Н., Холопов А.А. Лазерная сварка алюминиевых сплавов // Фотоника. 2010. №3. С. 3–35.
3. Пучков Ю.А. и др. Исследование распада переохлажденного твердого раствора алюминиевого сплава В91 системы Al-Zn-Mg-Cu. МиТОМ // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 8. С. 16-22