

[https://esab.com/iv/eur\\_en/esab-university/articles/what-are-unweldable-aluminum-alloys/](https://esab.com/iv/eur_en/esab-university/articles/what-are-unweldable-aluminum-alloys/)

**(ЭСАБ - домашняя страница)**

### **Почему некоторые алюминиевые сплавы не поддаются сварке?**

Большинство сплавов на основе алюминия можно успешно сваривать дугой при использовании правильных методов сварки. Однако есть некоторые сплавы на основе алюминия, которые иногда называют несвариваемыми. Эти группы сплавов, которые мы обсудим далее, как правило, хорошо известны как непригодные для дуговой сварки. По этой причине они соединяются механически заклепками или болтами.

### **Что такое несвариваемые алюминиевые сплавы?**

Прежде чем мы начнем рассматривать различные причины плохой свариваемости этих сплавов, мы должны начать с рассмотрения термина несвариваемость. Это нестандартный термин, который иногда используется для описания алюминиевых сплавов, которые трудно сварить дугой без возникновения проблем во время и/или после сварки. Эти проблемы обычно связаны с растрескиванием, чаще всего с горячим растрескиванием, а иногда и с коррозионным растрескиванием под напряжением (SCC).

Когда мы рассматриваем алюминиевые сплавы, попадающие в эту трудносвариваемую категорию, мы можем разделить их на разные группы.

Сначала мы рассмотрим небольшой выбор алюминиевых сплавов, которые были разработаны для обработки, а не для сварки. Такие сплавы, как 2011 и 6262, содержащие 0,20–0,6 Вi, 0,20–0,6 Рb и 0,40–0,7 Вi, 0,40–0,7 Рb соответственно. Добавление этих элементов (висмута и свинца) к этим материалам значительно способствует образованию стружки в этих легкообрабатываемых сплавах. Однако из-за низких температур затвердевания этих элементов они могут серьезно снизить возможность успешного получения качественных сварных швов в этих материалах.

Существует ряд алюминиевых сплавов, которые весьма подвержены горячему растрескиванию при дуговой сварке. Эти сплавы обычно являются термообрабатываемыми сплавами и чаще всего встречаются в группах материалов серий 2xxx (Al-Cu) и 7xxx (Al-Zn).

### **Почему некоторые алюминиевые сплавы не поддаются сварке?**

Для того чтобы понять, почему некоторые из этих сплавов непригодны для дуговой сварки (несвариваемы), необходимо рассмотреть причины, по которым некоторые алюминиевые сплавы могут быть более подвержены горячему растрескиванию.

Горячее растрескивание или растрескивание при затвердевании происходит в алюминиевых сварных швах, когда присутствуют высокие уровни термического напряжения и усадки при затвердевании, когда сварной шов подвергается различным степеням затвердевания. На чувствительность любого алюминиевого сплава к горячему растрескиванию влияет сочетание механических, термических и металлургических факторов.

Многие высокоэффективные термообрабатываемые алюминиевые сплавы были разработаны путем комбинирования различных легирующих элементов для улучшения механических свойств материалов. В некоторых случаях комбинация необходимых легирующих элементов позволяет получать материалы с высокой чувствительностью к горячему растрескиванию.

### **Диапазон когерентности**

Возможно, наиболее важным фактором, влияющим на чувствительность алюминиевых сварных швов к образованию горячих трещин, является температурный диапазон когерентности дендритов, а также тип и количество жидкости, доступной в процессе замораживания. Когерентность — это когда дендриты начинают сцепляться друг с другом до такой степени, что расплавленный материал начинает формировать кашеобразную стадию.

Диапазон когерентности - это температура между образованием когерентных взаимосвязанных дендритов и температурой солидуса. Это можно назвать мягким диапазоном во время затвердевания. Чем шире диапазон когерентности, тем более вероятно возникновение горячего растрескивания из-за накопления напряжения затвердевания между блокирующими дендритами.

### **Сплавы серии 2xxx (Al-Cu)**

Чувствительность к горячему растрескиванию в сплавах Al-Cu увеличивается при добавлении Cu примерно до 3% Cu, а затем снижается до относительно низкого уровня при 4,5% Cu и выше. Сплав 2219 с 6,3 % Cu показывает хорошую стойкость к горячему растрескиванию из-за его относительно узкого диапазона когерентности. Сплав 2024 содержит примерно 4,5% меди, что может поначалу заставить нас предположить, что он будет иметь относительно низкую чувствительность к растрескиванию.

Однако сплав 2024 также содержит небольшое количество магния (Mg). Небольшое количество Mg в этом сплаве снижает температуру солидуса, но не влияет на температуру когерентности; следовательно, диапазон когерентности расширяется, а склонность к горячему растрескиванию увеличивается. Проблема, которую следует учитывать при сварке 2024, заключается в том, что теплота операции сварки будет способствовать сегрегации легирующих компонентов на границах зерен. Присутствие Mg, как указано выше, будет снижать температуру солидуса. Поскольку эти легирующие компоненты имеют более низкие фазы плавления, напряжение затвердевания может вызвать растрескивание на границах зерен и/или создать в материале условия, способствующие коррозионному растрескиванию под напряжением позже. Высокое тепловложение во время сварки, многократные проходы сварки и большие размеры сварных швов могут усугубить проблему сегрегации по границам зерен (сегрегация — это зависимость между температурой и временем) и последующую тенденцию к растрескиванию.

### **Сплавы серии 7xxx (Al-Zn)**

Сплавы серии 7xxx также можно разделить на две группы по свариваемости. Это типы Al-Zn-Mg и Al-Zn-Mg-Cu.

### **Al-Zn-Mg сплавы**

Сплавы Al-Zn-Mg, такие как 7005, лучше противостоят горячему растрескиванию и демонстрируют лучшие характеристики соединения, чем сплавы Al-Zn-Mg-Cu, такие как 7075. Содержание Mg в сплавах этой группы (Al-Zn-Mg) обычно повышает чувствительность к растрескиванию. Однако Zr добавляется для уменьшения размера зерна, что эффективно снижает склонность к растрескиванию. Эта группа сплавов легко сваривается с присадочными сплавами с высоким содержанием магния, такими как 5356, что гарантирует, что сварной шов содержит достаточное количество магния для предотвращения растрескивания. Присадочные сплавы на основе кремния, такие как 4043, обычно не рекомендуются для этих сплавов. Это связано с тем, что избыток Si, введенный присадочным сплавом, может привести к образованию избыточного количества хрупких частиц Mg<sub>2</sub>Si в сварном шве.

### **Сплавы Al-Zn-Mg-Cu**

Сплавы Al-Zn-Mg-Cu, такие как 7075, содержат небольшое количество Cu. Небольшие количества Cu вместе с Mg расширяют диапазон когерентности и, следовательно, повышают чувствительность к трещинам. С этими материалами может возникнуть аналогичная ситуация, как и со сплавами типа 2024. Напряжение затвердевания может вызвать растрескивание на границах зерен и/или создать в материале условия, способствующие дальнейшему коррозионному растрескиванию под напряжением.

### **Важная заметка**

Следует подчеркнуть, что проблема более высокой склонности к горячему растрескиванию из-за увеличения диапазона когерентности не ограничивается только сваркой этих более восприимчивых основных сплавов, таких как 2024 и 7075. Чувствительность к образованию трещин может быть существенно повышена при сварке несовместимых разнородных основных сплавов (которые обычно легко свариваются друг с другом) и/или путем выбора несовместимого присадочного сплава.

Например, при соединении идеально свариваемого основного сплава серии 2xxx с идеально свариваемым основным сплавом серии 5xxx, или путем использования присадочного сплава серии 5xxx для сварки основного сплава серии 2xxx, или присадочного сплава серии 2xxx на основном сплаве серии 5xxx, мы можем создать такой же сценарий. Если мы смешиваем высокое содержание меди и высокое содержание магния, мы сможем расширить диапазон когерентности и, следовательно, повысить чувствительность к трещинам.