



.....

# CAMSTech-II-2021: Современные достижения в области материаловедения и технологий

.....

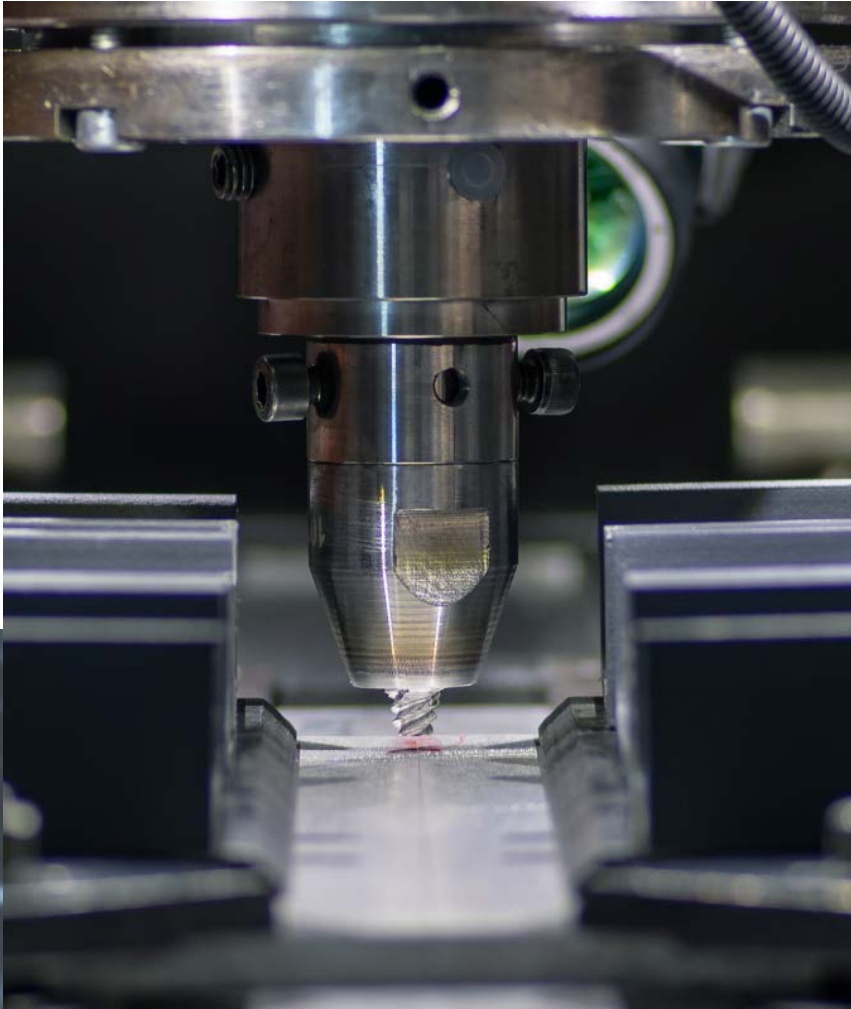
Obtaining of Aluminum Alloys Weld Joints with Specified Strength  
Properties by Friction Stir Welding

Ivanov A.N., Kalashnikova T.A., Zhukov L.L., Gurianov D.A., Beloborodov V.A.,  
Kolubaev E.A., Rubtsov V.E., Tyurin A.G., Bakshaev V.A., Nikitin Y.V.



# Актуальность

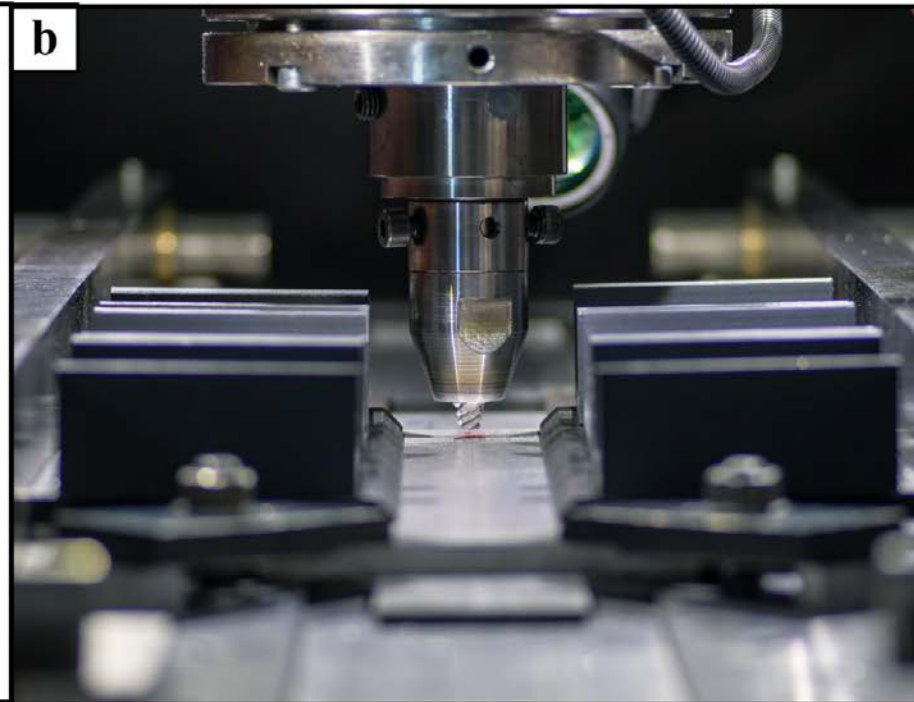
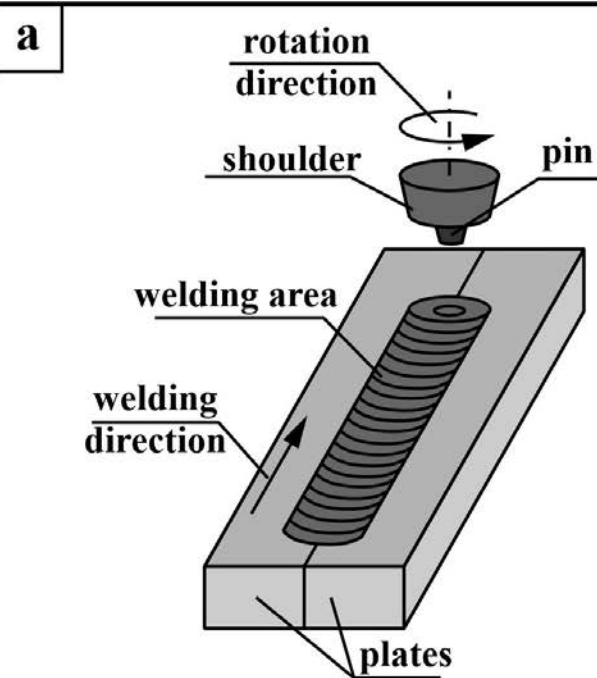
- Сварка трением с перемешиванием позволяет получать сварные конструкции из алюминиевых сплавов с достаточно высокой производительностью, превышающей многие традиционные технологии сварки. Процесс сварки трением с перемешиванием проявляет существенную зависимость от основных параметров - усилия прижима инструмента, скорости вращения и скорости продольного перемещения инструмента.
- При этом, имеются отличия в режимах получения соединений как при сварке различных материалов, так и при сварке одного и того-же материала в различных направлениях относительно направления проката при производстве листовых заготовок.
- Исходя из вышперечисленного, целью настоящей работы является анализ закономерностей реализации параметров режимов изготовления неразъемных соединений различной толщины из термически неупрочняемого сплава 5056 и термически упрочняемого сплава 2024.





## Методика эксперимента

Образцы получены методом сварки трением с перемешиванием на лабораторном оборудовании в ИФПМ СО РАН (а, б). Процесс сварки осуществляется путем вдавливания в материал стыка листовых заготовок алюминиевых сплавов вращающегося стального инструмента из стали марки Н13 или аналога. В результате материал деформируется, фрагментируется и размягчается за счет трения инструмента и заготовки, что позволяет за счет продольного перемещения инструмента производить формирование сварного шва. В работе в качестве материалов для исследования использовали листовой прокат из алюминиевых сплавов 2024 и 5056 толщиной 2, 5 и 10 мм. Для образцов толщиной 2 и 5 мм в процессе исследований варьировали направление сварки вдоль и поперек относительно проката (rolling direction, transverse direction). Для сварки использовали инструмент с неподвижным пином с винтовой нарезкой (b).



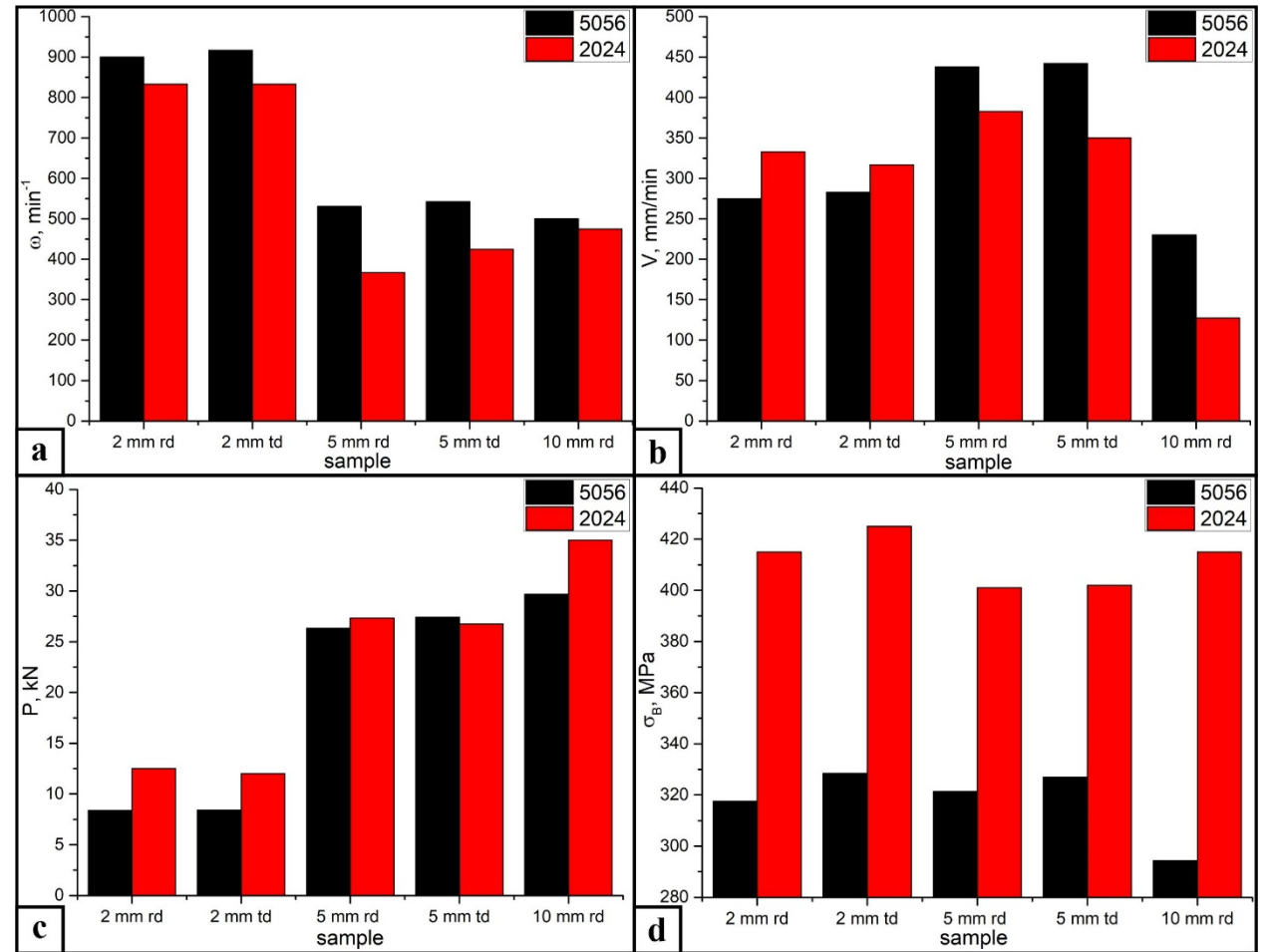
Подбор параметров режимов осуществляли таким образом, чтобы в полученных соединениях после сварки предел прочности шва составлял не менее 0,9 от предела прочности основного металла. В ходе подбора параметров варьировали нагрузку на инструмент, скорость вращения инструмента и скорость сварки. Результатом подбора параметров процесса сварки для каждой толщины, направления и типа сплава являлся оптимальный набор параметров процесса, позволявший получать изделий с гарантированными свойствами.)

# Режимы получения

• В процессе проведения исследований по подбору параметров был выявлен ряд технологических режимов получения образцов, обеспечивающих прочностные показатели не менее 0,9 от прочности основного металла. Результаты подбора приведены в таблице. Для представленных данных характерно существенно большее количество вариантов режимов получения образцов для сплава 5056, чем для сплава 2024. При этом, многие из параметров режимов получения образцов для данных сплавов достаточно близки. Диапазоны регулирования параметров режимов для данных сплавов также близки, максимальное расхождение скорости вращения, усилия прижима и скорости подачи для сплава 5056 приходится на толщину листов 5 мм, а для сплава 2024 - на толщину 2 мм. Наиболее близкие значения параметров режимов для данных сплавов приходится на толщину проката 2 мм. Наибольшие различия при сварке листов толщиной 10 мм.

Alloy, welding direction	Thickness, mm	Regime	P, кН	V, мм/мин	ω, об/мин	σ <sub>н</sub> , МПа
5056, rolling direction	2	N3	7,0	200	900	324
		N5	8,0	300	900	323
		N7	8,5	300	900	300
		N10	10,0	300	900	323
5056, transverse direction		N3	7,0	200	900	329
		N5	8,0	300	900	323
		N6	8,0	300	1000	324
		N7	8,5	300	900	334
		N9	9,0	300	900	328
		N10	10,0	300	900	331
2024, rolling direction		N7	11,0	250	700	411
		N8	13,0	350	900	418
	N9	13,5	400	900	416	
2024, transverse direction	N6	10,0	200	800	419	
	N7	11,0	250	700	419	
	N12	15,0	500	1000	437	
5056, rolling direction	5	N1	22,0	350	450	322
		N4	26,0	400	500	324
		N8	25,0	400	600	320
		N10	29,0	450	400	323
		N11	26,0	450	650	319
		N14	24,0	350	550	319
		N19	28,5	450	550	321
5056, transverse direction		N21	30,0	650	550	323
		N10	29,0	450	400	328
		N11	26,0	450	650	321
		N13	28,0	450	550	327
		N14	24,0	350	550	328
	N19	28,5	450	550	330	
	N20	29,0	500	550	330	
2024, rolling direction	N5	26,0	300	400	404	
	N7	28,0	350	250	397	
	N13	28,0	500	450	403	
2024, transverse direction	N8	28,0	450	400	401	
	N12	25,5	250	450	402	
	5056, rolling direction	N5	29,0	200	450	303
N18		29,0	200	550	298	
N27		30,5	250	400	289	
N29		29,5	240	550	289	
N30		30,5	260	450	294	
N32		29,5	230	600	293	

• При сварке сплавов обоих видов в средних значениях параметров режимов можно выделить небольшое количество закономерностей (fig). Оптимальные значения скорости вращения инструмента для толщины листового проката 2 мм и 10 мм для обоих сплавов достаточно близки, наибольшие отличия приходятся на толщину проката 5 мм (а). Скорость вращения инструмента при сварке образцов малой толщины максимальна и существенно снижается при увеличении толщины свариваемых изделий. Скорость сварки в условиях проводимых экспериментов была максимальной при получении изделий толщиной 5 мм из обоих сплавов (b). Для сварки листов толщиной 10 мм характерны наибольшие отличия в скорости сварки. Усилие прижима инструмента к свариваемой заготовке наиболее различаются при сварке изделий толщиной 2 и 10 мм, при получении швов толщиной 5 мм различия в усилии прижима минимальны (с). Средние значения временного сопротивления при испытаниях на растяжения образцов сплава 2024 различаются на величину не более 5-6%, в то время, как прочность образцов из сплава 5056 толщиной 10 мм снижается по сравнению с максимальными показателями на величину до 10%.



• Зависимости средней частоты вращения инструмента (а), средней скорости сварки (b), среднего усилия прижима (с) и среднего предела прочности сварного шва от материала, толщины и направления сварки при FSW

# Заключение

Проведенные исследования показывают, что зависимости параметров режимов получения неразъемных соединений от типа материала и направления сварки являются достаточно сложными и нелинейными. В основном для обоих исследованных сплавов характерны достаточно близкие значения параметров процесса формирования неразъемных соединений. При сварке образцов толщиной 10 мм начинают проявляться существенные различия в усилии прижима инструмента и скорости сварки. Дополнительно в данном случае возникают отличия в механических свойствах полученных соединений. Усилие прижима для образцов толщиной 5 мм находится практически на одном уровне, но скорость вращения при этом существенно отличная для сплава 2024 и сплава 5056. Скорость вращения инструмента для сварки сплава 5056 выше, чем для сплава 2024. При этом, для сплава 2024 характерны большие значения усилии прижима при сварке образцов толщиной 2 мм, и много большее усилие при сварке образцов толщиной 10 мм. Скорость сварки в среднем выше для сплава 5056 для толщины 5 и 10 мм, а для сплава 2024 при сварке образцов толщиной 2 мм. Влияние направления сварки на параметры процессе достаточно невелико и не превышает влияния типа сплава. Исходя из проведенной работы можно уточнить, что определение приемлемых параметров сварки трением с перемешиванием для получения изделий с гарантированными механическими свойствами имеет в основном эмпирический характер в виду большого количества факторов, определяющих процесс сварки и нелинейного типа зависимостей параметров процесса от типа сплава и толщины соединяемых заготовок.

# Контакты

Иванов Алексей Николаевич

Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, 634055 Russia

E-mail: [ivan@ispms.ru](mailto:ivan@ispms.ru)

The results were obtained in the framework of the Integrated Project “Establishment of production of high-tech large-sized equipment for intelligent adaptive friction stir welding for the aerospace and transport industries of the Russian Federation” (Agreement No. 075-11-2019-033 dated November 22, 2019) implemented by the NSTU and ISPMS SB RAS at the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation as part of Decree of the Government of the Russian Federation No. 218 dated April 09, 2010.