СОДЕРЖАНИЕ

Тема1. Основной металл.
1.1. Алюминиевые сплавы – конструкционные материалы.
1.2. Марки и свойства алюминиевых сплавов, используемых при постройке судов.
1.3. Требования Регистра к алюминиевым сплавам. Испытания на свариваемость.

Тема 2. Методы сварки алюминиевых сплавов.
2.1. Электрическая дуга – источник тепла при сварке плавлением.
2.2. Tig – сварка.
2.3. Mig – сварка.
2.4. Особые методы сварки алюминиевых сплавов.

Тема 3. Сварочные материалы.
3.1. Требования Регистра к сварочным материалам.
3.2. Одобрение Регистром сочетаний сварочных материалов.
3.3. Марки и назначение сварочных материалов.
3.4. Правила хранения и использования сварочных материалов.

Тема 4. Технологический процесс сварки.
4.1. Подготовка соединений под сварку, ГОСТ 14806
4.2. Обозначение сварочных швов на чертежах.
4.3. Международные условные обозначения (в рамках Свидетельства о допуске)
4.4. Спецификация процесса сварки СПС (WPS)
4.5. Одобрение сварочной технологии Регистром.
4.6. Порядок сдачи-приемки сборки под сварку и законченных сварочных швов.

Тема 5. Сварочные деформации.
5.1. Природа сварочных деформаций.
5.2. Основные виды и классификация сварочных деформаций.
5.3. Величина сварочных деформаций при изготовлении сварочных конструкций из алюминиевых сплавов.
5.4. Методы предупреждения сварочных деформаций.
5.5. Методы правки сварных конструкций из алюминиевых сплавов.

Тема 6. Дефекты сварочных соединений.
6.1. Причины горячих трещин и методы их исключения.
6.2. Поры в сварных швах при сварке алюминиевых сплавов.
6.3. Классификация дефектов сварных швов. Природа дефектов.
6.4. Влияние дефектов на работоспособность сварных конструкций из алюминиевых сплавов.

Тема 7. Методы контроля сварных соединений.
7.1. Визуальный контроль.
7.2. Радиографический контроль.
7.3. Ультразвуковой контроль.
7.4. Испытания свойств сварных соединений и наплавленного металла.
7.5. Критерии оценки качества.

Тема 8. Испытания на допуск.
8.1. Требования к сварщикам, выполняющих сварку конструкций, изготавливающихся под техническим надзором Регистра.
8.2. Порядок испытаний на допуск.
8.3. Ознакомление с СТП.

Тема 9. Сварочное оборудование.
9.1. Источники питания электрической дуги для Tig и Mig - сварки алюминиевых сплавов.
9.2. Внешняя характеристика источника питания. Регулирование режима сварки.
9.3. Оборудование для Tig – сварки.
9.4. Оборудование для Mig- сварки
9.5. Понятие об инверторном преобразовании энергии.

Тема 10. Техника безопасности при сварке в защитных газах
10.1. Опасности и вредности при сварке алюминиевых сплавов.
10.2. Индивидуальные средства защиты.
10.3. Правила безопасности:
- при обращении с баллонами со сжатыми газами;
- при сварке в труднодоступных и замкнутых объемах;
- при работе с электрооборудованием.

1. Основной металл.

Основным металлом сварной конструкции и сварного соединения называют металл, из которого изготовлена сварная конструкция и металл, который непосредственно подвергают сварке в составе сварного соединения.

1.1. Алюминиевые сплавы- конструкционные материалы.

Материалы, используемые при изготовлении строительных и машиностроительных конструкций должны отвечать двум условиям:

- не является дефицитными;
- обладать требуемыми служебными свойствами.

Распространенность алюминия в земной коре (по Ферсману)

Показатель распространения	AL	Fe	Mg	Ti	Cr	Ni	Co
Содержание, % от масс	7,45	4,2	2,35	0,61	0,03	0,02	0,002
Место	1	2	3	4	5	6	7

Удельная прочность: Rm/P, Дж/кг

материалы, показатели	База сравн.	Стали			Ti-сплавы		Al-сплавы**		
	Ст3сп	097Г2 (D32)	10СНД (D40)	0х18 НЮТ	ОТ4-1	ВТ-6	1	2	4
Rm, Па (Н/м^2)	$490x10^6$	$600x10^6$	$690x10^6$	$10x10^6$	$680x10^7$	$100x10^7$	$200x10^6$	$270x10^6$	$310x10^6$
P, кг/м^3	$7,85x10^3$	$7,85x10^3$	$7,85x10^3$	$7,95x10^3$	$4,55x10^3$	$4,55x10^3$	$2,65x10^3$	$2,65x10^3$	$2,65x10^3$
Rm/P, Дж/кг	62420	16433	87898	64151	149451	219780	75472	101886	116981
Экономия массы*	1	1,22	1,41	1,03	2,39	3,52	1,21	1,63	1,87

* В сопоставлении со сталью Ст3сп
** По категориям Регистра.

Коррозионная стойкость.

Среда	Al чистый	Al сплавы	Fe	Ti
Атмосфера:				
- Большого города	+	+-	+-	+
- Чистый сырой воздух при +40^{0}С	+-	+-	=	+
- сухой водяной пар	+	+	+-	+
- насыщенный водяной пар	+-	+-	+-	+
Вода:				
- пресная, болотная, содержащая CO_2	+	+	-	+
- морская и минеральная	+-	+-	-	+
- промстоков	-	-	-	+-
Продукты жидкие, сыпучие и пастообразные:				
- бензин, бензол	+	+	+-	+
- бензин+спирт, бензин низкого качества	-	+-	+-	+
- нейтральные жиры, масла, углевод.	+	+	+	+
- алкоголь, виноградный сахар	+	+	-	+
- пиво, уксусная кислота, вино	+-	+-	-	+
- молоко, фруктовый сок, сыр	+	+-	=	+
- винная кислота	-	-	=	+-

- неорганические кислоты, кроме	-	-	-	-
- азотная кислота	+-	+-	+-	+
- щелочи	-	-	+	+
- цемент. бетон, гипс	+-	+-	+	
- аммиак	+-	+-		+

Обозначения: + стоек; - малостоек; = не стоек

По коррозионной стойкости алюминий и его сплавы уступают титану, но во многих случаях превосходят стали. Коррозионная стойкость алюминия и его сплавов обусловлена химическими свойствами и строением окисной пленки. Она играет роль естественного защитного покрытия, имеющего плотное строение, нерастворимого в основе (самом металле) и быстро восстанавливающегося в случае повреждения.

Физические свойства.

Показатели свойств	Fe	Ti	Al	Результаты сравнения Al
$T_{пл,}{}^{o}C$	1530	1668	660	Алюминий самый легкоплавкий
C^{*}, кал/г· град	0,17	0,13	0,25	Для нагрева требуется больше тепла
λ^{*}, кал/см·с·град	0,095	0,04	0,32	Введенное тепло в Al распространяется в 3 раза быстрее, чем Fe и в 8 раз быстрее, чем в Ti
$\acute{a}/c\rho \times 10^{-6}$, см/кал	12,5	16,0	41,0	Имеет самую высокую склонность к тепловым деформациям
$T_{o},{}^{o}C$ (температура разупрочнения)	700	900	400	При нагреве пластическое деформирование наступает позже; при охлаждении упругие свойства восстанавливаются раньше.
$T_{o}/T_{пл}$	0,46	0,54	0,61	
q	500	332	255	Для сварки требуется меньше энергии
σ	~900	~1200		

* среднее значение для интервала $+20^{O}C$ до $T_{пл}$.

В дополнение к свойствам, перечисленным в таблице следует отметить, что алюминий обладает высокой электропроводностью. Она составляет 65% от электропроводности отожженной меди для алюминия особой и высокой частоты и 59% для технического алюминия и сплавов АД и АД1.

Контрольные вопросы п п.1.1.

1. Назвать свойства алюминиевых сплавов, делающие их привлекательными для использования в сварных конструкциях.
2. Перечислить свойства алюминиевых сплавов затрудняющие сварку.
3. Преимущества и недостатки алюминиевых сплавов в сопоставлении со сталями.

1.2 Марки и свойства алюминиевых сплавов, используемых при постройке судов.

Корпус судна должен обладать достаточной прочностью и коррозийной стойкостью в морской и пресной воде. Наибольшей коррозийной стойкостью, но самой низкой прочностью обладает чистый алюминий. Легирование и примеси снижают его коррозийную стойкость. Однако, установлено, что для многих сред марганец (Mn), а для морской воды магний (Mg), если его содержа-

ние не превышает 5,5%, практически не изменяют коррозийной стойкости алюминиевого сплава (Al-сплава), но превышают его механические свойства более чем в 2 раза. На этом основании Регистр регламентирует химический состав Al-сплавов, используемых при производстве поковок, штамповок, прутков, профилей, прессованных панелей и листов толщиной более 1,5 мм и предназначенных для судостроения и судового машиностроения. Механический свойства полуфабрикатов зависят от степени легирования Al-сплава и технологии производства полуфабриката.

По механическим свойствам Al-сплавы Правилами Регистра подразделяются на категории. Наличие связи между химическим составом и механическими свойствами позволяет регламентировать химический по категориям сплавов. Требования Регистра к химическому составу приведены в таблице 1.2-1

Табл. 1.2-1

Категория	Химический состав, %									
	Основные элементы			Другие элементы						
	Mg	Mn	Al	Ti	Zr	Si	Fe	Cu	Zn	Cr
							не более			
1	2,7-3,8	< 0,6	Остаток	< 0,2	-	< 0,8	0,5	0,1	0,2	0,3
2	4,0-4,9	0,3-1,0	Остаток	< 0,2	-	< 0,4	0,4	0,1	0,2	0,25
3	4,3-5,8	0,2-0,8	Остаток	0,02-0,2	-	< 0,5	0,5	0,1	0,2	0,35
4	5,5-6,5	0,8-1,1	Остаток	-	0,02-0,2	< 0,4	0,4	0,1	0,2	-
5	5,8-6,8	0,5-0,8	Остаток	0,02-0,1	-	< 0,4	0,4	0,1	0,2	-
6	0,4-1,5	0,2-1,0	Остаток	< 0,2	-	0,6-1,6	0,5	0,1	0,2	-

Требования регистра к механическим свойствам полуфабрикатов приведены в таблице 1.2-2.

Табл. 1.2-2

Категория	Вид полуфабриката	Механические свойства (не менее)		
		Rm, МПа	Rp 0,2 Мпа	A5, %
1	Листы	200	80	15
	Профили	180	80	12
2	Листы: t < 10 мин	270	120	17
	t > 10 мин	260	110	15
	Профили	260	110	12
3	Листы: t < 10 мин	270	125	15
	t > 10 мин	260	120	13
	Профили, прутки , панели	250	120	15
4	Листы: t < 5 мин	310	155	15
	t > 5 мин	330	175	12
	Профили, прутки , панели	330	205	11
5	Поковки, штамповки	280	125	8
6	Листы, поковки (холодного отверждения)	200	100	14

В таблице 1.2-3 приведены марки и механические свойства отечественных полуфабрикатов из Al-сплавов, используемых в судостроении. Там же дана оценка соответствия их требованиям Правил Регистра.

Контрольные вопросы к п. 1.2:

1. Какой смысл вкладывается в понятие категории Al-сплава?
2. Назвать категории на листовой прокат, профильный прокат и поковки.
3. Какие механические свойства регламентируются регистром для Al-сплавов? (Перечислить наименования свойств).
4. Дать определение понятий Rm, Rp 0,2, A5.
5. Назвать марки Al-сплавов средней прочности.
6. Дать оценку соответствия (не соответствия) используемых марок по категориям.

Табл. 1.2-3

Марка сплава	Документ на поставку полуфабрикатов	Вид полуфабриката	Состояние поставки	Толщина, мм	Механические свойства (не менее)			Соответсвует категории		Примечание
					Rm, МПа	Rp 0,2 Мпа	A5	по хим-составу	по мех свойсвам	
Сплавы низкой прочности										
(АД1) 1013	ГОСТ 21631	Листы	1013,1013М, 1013Н	до 10,5	68-147	не регламентир		-	-	
(АМц) 1400	ГОСТ 21631	Листы	1400,1400М, 1400Н, 1400Н/2	до 10,5	88-186	не регламентир		-	-	
(АМг2) 1520	ГОСТ 21631	Листы	1520,1520М, 1520Н, 1520Н/2	до 10,5	166-264	137-215		-	-	
(АМг3) 1530	ГОСТ 21631	Листы	1530		186,2	78,4	12	1[1)]	-[2)]	1. не регламентировано содердание Cr 2. не удовлетворяет по мех свойствам 3. не удовлетворяет по Rm 4. не удовлетворяет по A5
				> 6-10,5	186,2	78,4	15	1[1)]	-[2)]	
			1530М	0,6-4,5	196	98	15	1[1)]	1[3)]	
			1530Н/2	> 4,5-10,5	186	78,4	15	1[1)]	-[2)]	
				5,0-10,5	235,2	176	6	1[1)]	-[2)]	
	ГОСТ 17232	Плиты	1530		186,2	68,6	12	1[1)]	-[4)]	
				> 25-80	166,6	58,8	11	1[1)]	-[2)]	
Сплавы средней прочности										
(АМг4) 1543	ТУ1-1-81-81	Листы	1543М	>1,5-4,0	235	117,6	15	-	6	
(АМг5) 1550	ГОСТ 21631	Листы	1550	5,0-6,0	274,4	127,4	12	3	3[4)]	См. примечание к 1530
				>6,0-10,5	274,4	127,4	15		3	
			1550М	до 10,5	274,4	127,4	15		3	
	ГОСТ 17232	Плиты	1550	11,0-25,0	264,6	117,6	13		3	
				> 25,0-30,0	254,8	107,8	12		-[2)]	
	ГОСТ 8617	Профили	1550, 1550М	F до 200 см2	254,8	127,4	13		3[4)]	
(АМг6) 1560	ГОСТ 21631	Листы плакированные	1560 Б (без термической обработки, плакированные)	5,0-10,5	313,6	156,7	15	5	5[5)]	См. примечание к 1530 5. согласно Правилам эта категория для поковок и штамповок
			1560 БМ	,06-10,5	313,6	156,8	15		5[5)]	
	ГОСТ 17232	Плиты плакированные и не плакированные	1560 Б (без термической обработки, плакированные)	11,0-25	303,8	147	11		5[5)]	
			1560 БМ	> 25-50	294	137,2	6		-[4)]	
			1560 БМ	>50-80	274	127,4	4		-[2)]	
	ГОСТ 8617	Профили	1560	F до 200 см2	313,6	156,8	15		5[5)]	

			1560М		313,6	156,8	15		5[5)]	
(АМг61) 1561	ОСТ1.92073-82	Листы с технологической плакировкой	1561 Б (без термической обработки, плакированные)	5,0-10,1	333,2	176,4	12	4	4	
			1561 БМ	,08-3,5	313,6	156,8	12		4[4)]	
				> 3,5-4,5	333,2	176,4	15		4	
	ОСТ1.92063-78	Плиты плакированные и не плакированные	1561 Б (без термической обработки, плакированные)	12,0-25	333,2	176,4	12		4	
				>24,0-50	333,2	176,4	10		4[4)]	
	ОСТ1.92059-78	Профили	1561	F до 200 см2	333,2	205,8	11		4	
	ОСТ1.92041-75	Панели	1561М	ширина 1350-2100	333,2	186,2	11		-[2)]	
Сплавы высокой прочности										
(АМг61н) 1561Н	ОСТ1.92073-82	Листы и плиты с технологической плакировкой	1561НБН	2,0-12,0	352,8	245	10	5	4[4)]	
				14,0-16,0	333,2	225,4	12		4	
(В48-4Т1) 1980Т1	ОСТ1.92073-82	Листы неплакированные	1980Т1 (закаленное и исскуственно состаренное)	1,0-4,0	362,6	294	12			
				> 4,0-10,0	362,6	294	11			
	ОСТ1.92063-78	Плиты неплакированные		11,0-20,0	362,6	294	10			
				>20,0-50,0	362,6	294	8			
	ОСТ1.92059-78	Профили		F до 200 см2	362,6	294	11			
(АМг62) 19854	ОСТ1.92073-82	Листы плакированные	19854Т (после закалки и естественного старения до 8 суток)	2,0-3,0	333,2	196	16			
				4,0-10,0	343	205,8	16			
	ОСТ1.92063-78	Плиты		12,0-35	362,6	235,2	15			
	ОСТ1.92059-78	Профили		F до 200 см2	343	235,2	14			
	ОСТ1.92041-75	Панели		4,0-6,0*1350-2100	343	235,4	13			
	ТУ5.961-11098-78	Листы плакированные	19854Т (после закалки и естественного старения 90 суток)	4	398	235,2	13			
				5,0-10,0	411,6	254,8	13			
		Плиты плакированные		10,5-30,0	411,6	254,8	13			
		Профили		F до 200 см2	411,6	274	12			
				4,0-6,0*1350-2100	411,6	274	12			

Обозначения:

(-) не соответствует требованиям Правил Регистра;

(1) соответствует по данному признаку Правилам Регистра указанной в скобках категории.

Для состояния поставки: М – отожженный, Н/2 – полунагортованный, Н – нагортованный, отсутствие индекса после марки – без термообработки.

1.3. Требования Регистра к Al- сплавам. Испытания на свариваемость.

Для изготовления конструкций под техническим надзором Регистра должны использоваться одобренные Регистром Al – сплавы. Одобренными являются полуфабрикаты из Al-сплавов, если они изготовлены под надзором Регистра на признанных Регистром предприятиях. Подтверждением одобрения является маркировка полуфабрикатов, а также отражение факта одобрения в Сертификатах на полуфабрикат.

Применение сплавов, химический состав и механические свойства которых отличаются от указанных в табл.1.2-1 и 1.2-2 в каждом случае является предметом специального рассмотрения Регистром.

Применение полуфабрикатов в полунагартованном и нагартованном состояниях в сварочных конструкциях является предметом специального рассмотрения Регистром.

Проведение технологических операций, сопровождающихся местным нагревом, наклепом или деформацией конструкций, не должно приводить к изменению свойств, препятствующему применению полуфабрикатов по назначению.

Листы, профили, паковки, штамповки, панели и отливки не должны иметь дефектов, отрицательно влияющих на применение полуфабриката по назначению. С этой целью полуфабрикаты партиями, а отливки от каждой плавки предъявляются к испытаниям. В производство допускаются полуфабрикаты и отливки выдержавшие испытания.

Прокат и литье из сталей и AL-сплавов, применяемых в судостроении подвергаются испытаниям на свариваемость. Свариваемость испытывается с применением способов, которые предполагается использовать при постройке.

При испытаниях на свариваемость обычно определяется:

- химический состав и механические свойства;
- стойкость к образованию холодных трещин;
- склонность к старению. (Для сталей она определяется испытанием на ударный изгиб после предварительного растяжения с остаточной деформацией до 10% и нагрева до $250^{0+}5^{0}$C.
- свойства сварного соединения.

Для полуфабрикатов из AL- сплавов испытания на свариваемость должны производиться на специальной программе, согласованной с Регистром. Испытания на свариваемость должны производиться производителем материала.

Контрольные вопросы к п.1.3.:

1. Смысл понятия одобрения.
2. Чем подтверждается одобрение материала Регистром?
3. Перечислить основные требования Регистра к AL-сплавам.
4. Допустимо ли использовать промышленные марки AL-сплавов отличающиеся от требований Регистра по хим.составу и/или механическим свойствам?
5. Требования Регистра к основному металлу подвергающемуся при постройке местному нагреву?
6. Испытания на свариваемость: определяемые показатели, когда производятся и кем.

2. Методы сварки алюминиевых сплавов.

AL-сплавы требуют высокой концентрации тепла при сварке плавлением. Поэтому наибольшее распространение получили дуговые способы сварки, где источником тепла является электрическая дуга.

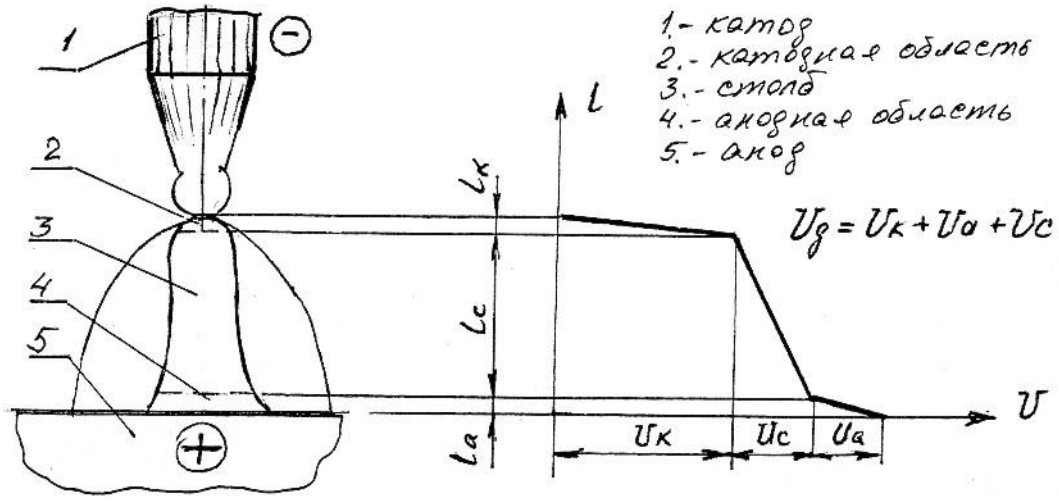
2.1. Электрическая дуга – источник тепла при сварке плавлением.

Электрической дугой называют длительный электрический разряд в газовой среде. Она представляет собой проводник второго рода, т.к. перенос электрических зарядов в дуге обеспечивается электронами и ионами. Это абсолютно эластичный проводник. Под действием внешних сил дуга может легко изменять форму и направление.

Условия существования дуги:

- наличие газовой среды (в вакууме будет протекать другой вид электрического разряда);
- наличие условий для создания токопроводящего газового промежутка;
- постоянный приток энергии для обеспечения непрерывности разряда.

Строение дуги: рис.2.1.-1



Температура дуги.

Температура дуги не определяется однозначно. Каждой области дуги присуща свойственная ей температура.

Температура столба дуги определяется потенциалом ионизации составляющего его газа. Столб сварочной дуги представляет собой смесь газов: защитный газ + пары анода + пары катода. Газовый состав столба дуги по его длине непрерывно изменяется, а в месте с изменением состава изменяется и температура:

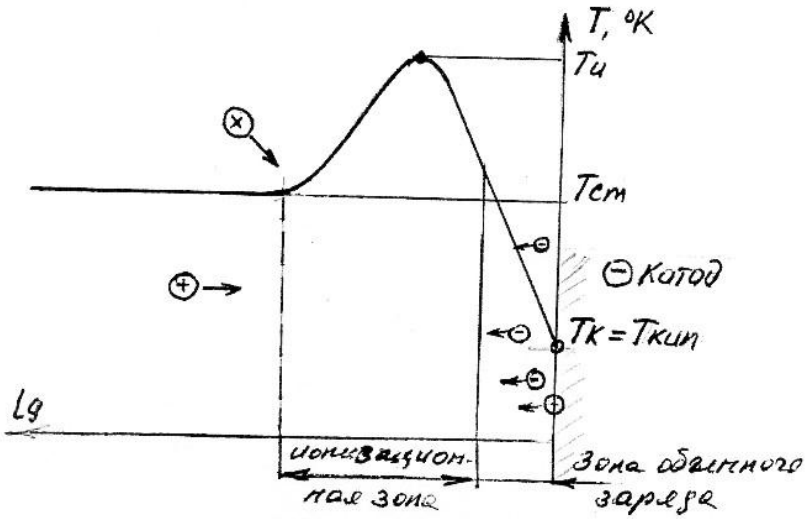
$T = 800U_{эф}$, $^0К$, где $U_{эф}$ – эффективный потенциал ионизации газовой смеси столба дуги.

табл.2.1-1

Зона столба дуги	Предполагаемый состав в газовой фазе	$U_{эф}$ В	T $^0К$	T $^0С$
Средина	Ar – 100%	15,7	12560	12287
у анодной области	AL – пары≥5%	5,95	4760	4487
у катодной области	W – пары ≥5%	8,1	6480	6207

На аноде наибольшую *температуру несет «анодное пятно».* Его температура зависит от материала анода и не может превышать температуру кипения, т.к. избыток тепла, поступающий к аноду поглощается на испарение анода: (см. рис.2,1-2)

$T^{al} = 2333^0К = 2060^0С$ $Ta^{W=} 6200^0К = 5927^0С$



Наибольшая температура катода ограничивается Ткип материала катода. Однако вблизи катода температура столба дуги резко возрастает до Ти в зоне ионизации, где наблюдается столкновение ионов и электронов, а затем в прикатодном промежутке, в зоне объемного заряда снижается до Тк = Ткип. (см.Та(AL) и Та(W)). Создание и поддержание токопроводящего межэлектродного промежутка обеспечивается ионизационными (эмиссионными) процессами приведенными в табл. 2.1-2

Виды ионизации (эмиссии)	При зажигании		При горении
	дистанционном	касанием	
Термоэлектронная	-	+	+
Автоэлектронная	++	+	+
Соударением	+	+	+
Фотоэлектронная	-	+	+

Тепловые потолки в дуге определяются направлением градиента температуры. Как правило тепло от столба дуги передается аноду и катоду.

Катодное распыление – электрическое явление протекающее на поверхности катода и заключающееся в его разрушении. Первоначально обнаружено в электровакуумных и газоразрядных приборах. В настоящее время используется как технология очистки поверхности (ионное травление). Природа этого явления заключается в распылении поверхностного слоя под воздействием бомбардировки (потока) ионов. Распыление обладает избирательностью, т.к. распылению подвергаются в первую очередь окисные пленки и поверхностные загрязнения. При сварке AL- сплавов играет важную роль. Она способствует разрушению окисной пленки на поверхности детали, когда деталь является катодом.

Полярность дуги – это положение анода и катода по отношению к электроду и изделию:
Прямая полярность: катод (-) – электрод, анод(+) – изделие.
Обратная полярность: катод(-) – изделие, анод (+) – электрод.
Переменная полярность – это чередующаяся полярность с частой переменной тока.

Тепловое и световое излучение дуги характеризуется высокой энергией. Световое излучение наибольшую интенсивность имеет в области длины волны 0,5 мкм. Это излучение распространяется в область ультрафиолета и опасно для человека.

Газовые потоки в дуге. При токах Уq≥50А в дуге появляются потоки пара преимущественно ориентированные вдоль оси дуги. Скорость движения ионизированного пара составляет 75-150 м/сек. Эти потоки оказывают сильное влияние на распределение тепла в дуге и на перенос металла. При прямой полярности и малых (Уq≤150,А) струя пара направлена с изделия на электрод. При этом на электрод приходится 40-45% тепла, а на изделие 30-35%. При Уq≥300А тепло передаваемое электроду снижается, а передаваемое изделию возрастает в 1,4р.

Контрольные вопросы к п. 2.1.

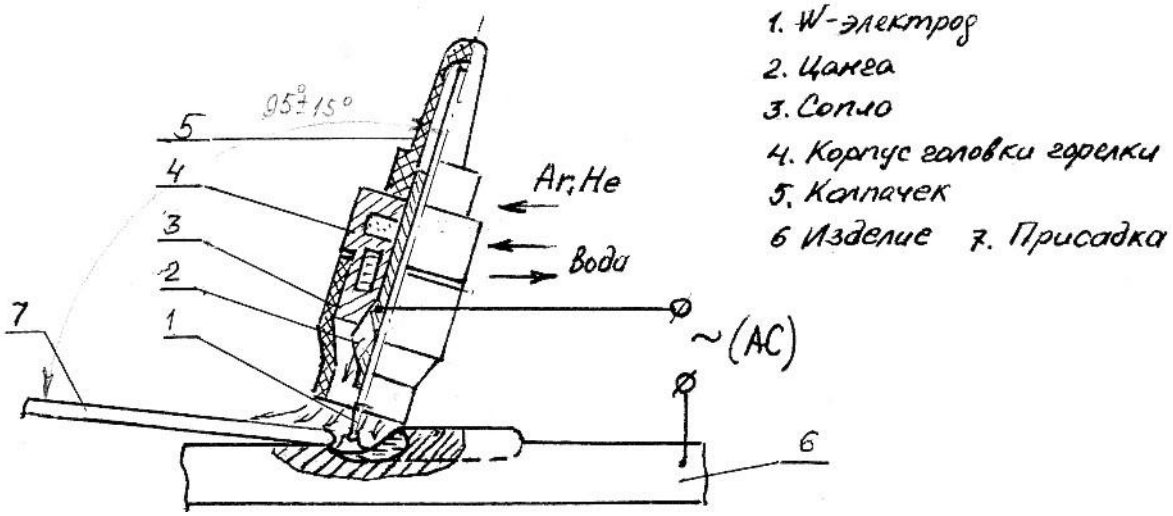
1. Условии существования электронной дуги.

2. Строение дуги.
3. Температура зон дуги.
4. Катодное распыление. Описание явления.
5. Понятие полярности.
6. Излучение дуги.
7. Прочесы испарения и потоки паров в дуге.

2.2. TIG – сварка.

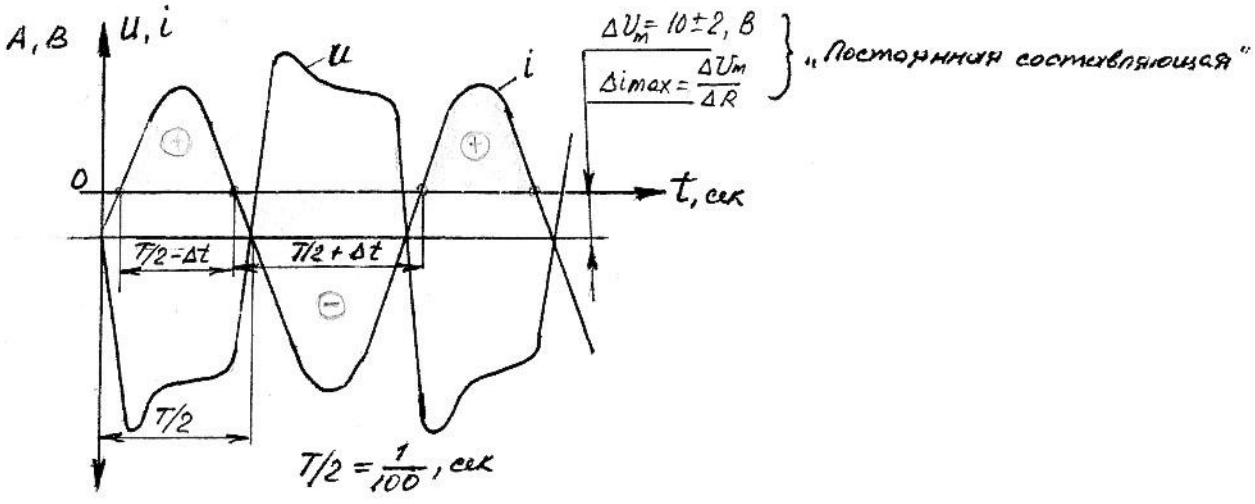
Сварка неплавящимся электродом в инертном газе (TIG) *производится на переменном токе.* Схема процесса приведена на рис.2.2-1

Рис. 2.2-1



Для разрушения окисной пленки *используется эффект катодного распыления.* Это происходит когда изделие является катодом (на W электроде (+), на изделии (-)).

Негативное свойство дуги W-AL- ее выпрямляющее действие на переменный ток (Рис.2.2-2)



Следствия действия *выпрямляющего эффекта:*

- уменьшение длительности полупериодов обратной полярности;
- увеличение тока в полупериоды прямой полярности.

Первое вызывает *ухудшение очистки зеркала сварочной ванны от окисной пленки,* а второе повышает стойкость электрода. Отрицательный фактор выпрямляющего действия дуги побуждает принимать *меры к подавлению постоянной составляющей.* Это решается введением специальных устройств в сварочное оборудование.

Сварка выполняется *в аргоне (Ar) или гемен (He)*. Эти газы имеют разные потенциалы ионизации (15,7В для *Ar* и 24,5В для He), а это существенно влияет на режимы сварки и глубины проплавления, которая при использовании He несколько увеличивается, но становится ниже устойчивой, т.к. требует для своего существования более высокого напряжения.

На устойчивость дуги оказывает влияние так же *расход защитного газа.* При завышенном расходе вольфрановый электрод более интенсивно охлаждается, а так же охлаждается столб дуги, что вызывает затруднения в поддержании и восстановлении дугового разряда при изменениях полярности.

Присадочный металл при ручной сварке подается в ванну по мере формирования шва. Как правило, одним проходом наплавляется валик с площадью поперечного сечения равным сечению присадочного прутка. При автоматической сварке присадкой является проволока диаметром 1,0 – 2,5мм. Скорость ее подачи назначается в зависимости от требуемого поперечного сечения прохода, диаметра присадочной проволоки и в зависимости от скорости сварки:

$V_{под} = 4V_{св}F^{пр}/\Pi d^{пр}$, где $F^{пр}$ – сечение прохода, мм^2

$d^{пр}$ – диаметр присадки, мм^2

Tig – сварка достаточно легко поддается автоматизации. Среди механизированных методов Tig – сварки имеются следующие способы : сварка без присадки (по нулевому зазору; усиление формируется за счет автоопрессовки), сварка погруженной дугой.

Характеристики Tig – сварки (ручная сварка)

1. К.П.Д. дуги = 0,4η
2. Коэффициент наплавки – α = 1,2-3,2
3. Коэффициент нагрева (коэффициент пропорциональности между погонной энергией и площадью поперечного сечение наплавленного металла) - θ= 4000-12000 кол/см^3

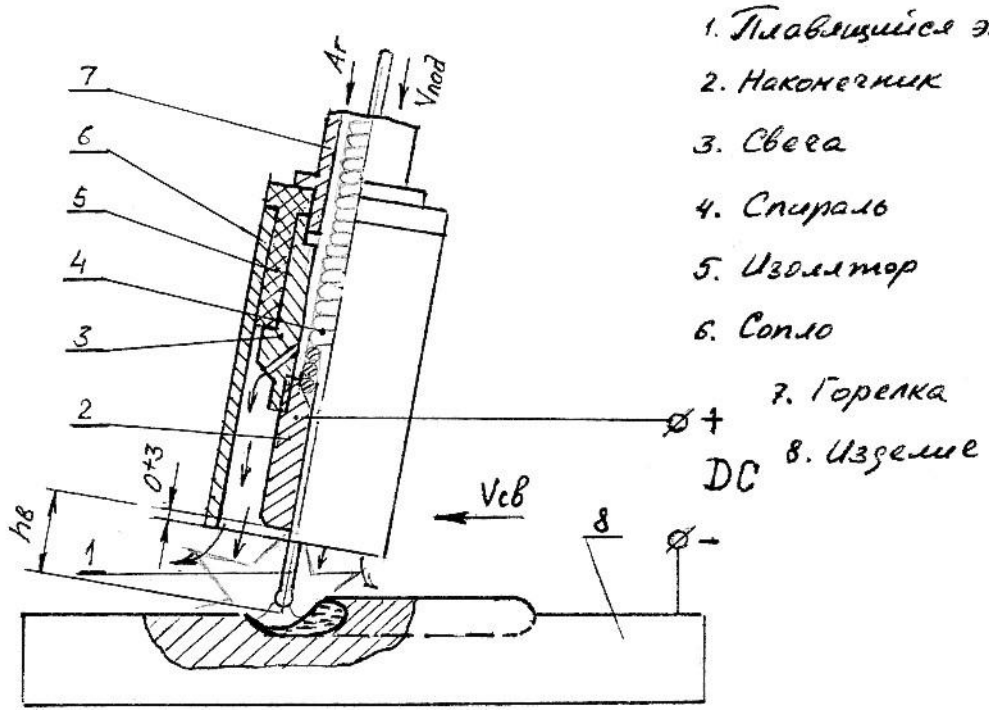
Контрольные вопросы к п.2.2

1. Род тока при Tig – сварке.
2. Средства разрушения окисной пленки.
3. Причина применения тока (AC)
4. Виды используемых при Tig – сварке защитных газов и их влияние на процесс сварки.
5. Факторы влияющие на устойчивость горения дуги. Выпрямляющий эффект.
6. Характеристики Tig – сварки: η, α, θ
7. Перечислить преимущества и недостатки Tig – сварки.

2.3. MIG – сварка.

Сварка плавящимся электродом в инертном газе (MIG) производится на постоянном токе обратной полярности. Схема процесса приведена на рис. 2.3-1. Это полуавтоматический или автоматический процесс сварки (с механизированной подачей сварочной проволоки – для полуавтоматической и механизированной подачи проволоки и механизированным перемещением горелки – для автоматической сварки).

Рис. 2.3-1. Схема процесса MIG – сварки.



Разрушение окисной пленки обеспечивается катодным распылением, т.к. процесс сварки происходит на обратной полярности. Проволока, являющаяся электродом, в зону сварки подается с постоянной скоростью (Vnog = const). Сварка производится с использованием сварочных источников с жесткой внешней характеристикой (Vg = const). При малых диаметрах плавящегося электрода жесткая внешняя характеристика и постоянная скорость подачи проволоки позволяют использовать принцип саморегулирования длины дуги. Устойчивость процесса сварки определяется стабильностью длины дуги. Принцип саморегулирования основывается на том, что при случайных колебаниях длины дуги адекватно изменению длины дуги меняется скорость плавления электродной проволоки. При постоянной скорости подачи (Vnog = const) возросшая скорость плавления, вызванная уменьшением длины дуги, предотвратит короткое замыкание, а сниженная скорость плавления, вызванная увеличением длины дуги, исключит обрыв дуги. Природа саморегулирования длины дуги объясняется тем, что скорость плавления изменяется пропорционально квадрату силы сварочного тока. При условии Vg = const, увеличение длины дуги сопровождается увеличением сопротивления дуги (Rg), ток примет значение:

$$Jg^* = Vg/Rg\uparrow$$ - меньше, чем было до увеличения длины дуги.

Это вызовет мгновенное изменение(уменьшение) скорости плавления, за счет которой восстановится первоначальная длина дуги и первоначальная сила тока. Принцип саморегулирования достаточно эффективен при больших плотностях тока, которые имеют место при использовании проволоки диаметром менее 1,6 мм.

Сварка выполняется в среде инертного газа Ar или He. Качество газовой защиты при MIG – сварке в значительной степени определяет не только качество металла шва, но и стабильность горения дуги, интенсивность разбрызгивания и условия формирования шва. Наиболее полно отвечает этому аргон сорта 1, имеющий чистоту ~ 99,98%, а так же горелки, сопла и режим питания газом, обеспечивающие ламинарное истечение газа из сопла горелки. Исходящий поток газа из сопла горелки сохраняет свою чистоту только в центре струи, сечение которого уменьшается по мере удаления от сопла. Поэтому сварку производят на регламентированном вылете электрода: $h_в$ = 8-15 мм.

На устойчивость горения дуги, разбрызгивание и формирование шва влияет большое число факторов. Главным из них является:

- Стабильность подачи сварочной проволоки,
- Динамические свойства источника питания,
- Качество подготовки деталей под сварку,

- Надежность электрических подвижных и неподвижных контактов.

Подающий механизм должен обеспечивать подачу проволоки с колебанием скорости не более 5% независимо от изменения усилия её проталкивания через каналы горелки. Для этого принимают все возможные меры, чтобы уменьшить сопротивление проталкиванию проволоки. Стальные спирали в горелке заменяются тифлоновыми трубками, используются подающие механизмы с двумя парами роликов, которые обеспечивают предварительную правку. Кроме того используется специальный привод, стабилизирующий число оборотов двигателя.

Для управления переносом металла через дугу с целью снижения разбрызгивания используются дополнительно источники импульсного тока.

С появлением инверторных источников, к при применении проволоки ф1,0–1,2, создались условия для сварки без дополнительных импульсов.

При MIG – сварке электродный металл подвергается более сильному тепловому воздействию, чем при Tig – сварке, т.к. капли электродного металла проходят через столб дуги. Их температура достигает температуры кипения (2333°К). При этом возможно испарение легкоплавких примесей (например цинка) более сильное насыщение металла капель растворимыми в Al газами, следовательно, более высокая вероятность образования пор.

Mig–сварка обеспечивает более глубокое проплавление, чем Tig-сварка; требует более точной сборки и меньших чем Tig-сварка зазоров. Процесс Mig–сварки протекает быстрее, чем Tig-сварки. Это требует определенных навыков от сварщика, т.к. при скоротечном процессе требуется быстрое реагирование, чтобы избежать прожогов и/или непроваров.

Характеристики Mig-сварки.

1. К.п.д. дуги η=0,7
2. Коэффициент наплавки $\alpha_н$=7,3-9,6 г/а·ч
3. Коэффициент нагрева (коэффициент пропорциональности между погонной энергией и площадью поперечного сечения наплавленного металла) - Ѳ=4000 кал/см^3
4. Скорость сварки ≈ 15-60 см/мин (9-36 м/час) для одного прохода.
5. Погонная энергия – q=300-2100 кал/см

Сопоставление Tig и Mig сварки алюминиевых сплавов по основным характеристикам приведена в таблице 2.2.-1

Таблица 2.2.-1

NN п/п	Сопоставленные характеристики	Критерий сравнения	Сварка		Результат
			TJG	MJG	
1	Потребление энергии на 1 см^3 шва	Ѳ, кал/см^3	4000*/12000	4000	Tig>от 1-3 раз
2	Производительность наплавки, г/А·ч	α_n, г/А·ч	1,2*/3,2	7,3*/9,6	Tig<в 2,3-8 раз
3	Склонность к остаточным деформациям	q_n= Ѳ$F_{шв}$**, кал/см	4000*/12000	4000	Tig>от 1-3 раз
4	Парообразование при сварке	$T_{ж..м}$***, °С	1150	2000	Вероятность парообразования выше при Mig-сварке
5	Глубина проплавления	Н****, мм	2,5	4	Mig-сварка обеспечивает более глубокое проплавление
6	Пылегазовыделения	Валовые выделения г/кг	5	20	MJG дает больше пылегазовыелений, однако в 8 раз меньше образуется озона (0,1 г/кг)

* верхнее значение – min; нижнее - max

** приведено значение погонной энергии необходимые для наплавки валика единичного (1см^2) сечения.

***Критерием принята средняя температура металла:

- для Tig – сварочной ванны
- для Mig – капель электродного металла.

****Критерием сравнения принята глубина проплавления при наплавке валика на пластину толщиной 10 мм одинакового поперечного сечения

Контрольные вопросы к п.2.3.

1. Род тока и полярность при Miq-сварке.
2. Суть принципа саморегулирования длины дуги.
3. Средства разрушения окисной пленки при Miq-сварке.
4. Роль защитного газа при Miq-сварке Al-сплавов.
5. Факторы влияющие на устойчивость горения дуги и стабильность процесса Miq-сварки.
6. Характеристики Miq-сварки по $\alpha_{n,}$, η и Θ.
7. Преимущества и недостатки Miq-сварки Al-сплавов.

2.4.Особые методы сварки AL – сплавов.

Автоматическая сварка сжатой дугой является перспективной технологией и нашла применение на целом ряде заводов.

Возможно выполнение как стыковых, так и тавровых соединений, однако судостроительной промышленностью освоена только сварка стыковых соединений ОСТ5.9153 содержит рекомендации дл сварки листов до 20мм толщиной, многопроходным методом. Соединения толщиной до 10мм выполняются без разделки кромок:

S = 4-6 – без зазора (0+0,5) за 2 прохода;

S = 8-10 – по зазору 2,5±0,5 за 3 прохода.

При толщине 12-20 мм выполняется х-образная разделка с углом раскрытия 90^0, нулевым притуплением. Допустимый зазор – 0^2 мм. Сварка выполняется за 4 прохода.

Источником тепла является плазменная струя с температурой центральной части 5000-30000^0С. Это обеспечивает снижение размеров зоны нагрева, увеличивает глубину проплавления и производительность процесса. Сокращается так же расход электроэнергии на единицу массы расплавленного металла шва.

В приборостроении и авиации получила распространение *микроплазменная ручная сварка* AL – сплавов, где используются токи 5-25А. Она выполняется как правило по отбортовке.

Ручная плазменная сварка на обычных токах 40-200 А опробована ЦНИИТС на корпусных конструкциях из AL – сплавов для стечковых и угловых соединений. Получены обнадеживающие результаты при сварке листов методом «замочная скважина» (со сквозным проплавлением без разделки с обратным формированием), по обычной технологии с присадкой и в полуавтоматическом режиме (с механизированной подачей присадки).

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами в судостроении не используется; в других отраслях она постепенно вытесняется более производительными и надежными способами. Главным образом дуговая сварка покрытыми электродами используется для чистого алюминия, силумина и AL – сплавов с низкой степенью легирования.

Сварку этим методом выполняют на постоянном токе обратной полярности. При толщине деталей 10мм и выше применяется предварительный подогрев до 100-400^0С.

Электроды имеют диаметр 5-8мм. Наименьший возможный катет составляет 6 мм. Применение электродов малого сечения исключается из-за высокой скорости их плавления.

Автоматическая сварка по флюсу отличается от автоматической сварки под флюсом тем, что флюсы для сварки AL обладают высокой электропроводностью и не позволяют закрыть дугу, т.к. идет процесс шунтирования дуги и она гаснет.

При наличии тонкого дозированного слоя флюса впереди дуги, пары металла и образующиеся при тепловом воздействии на флюс газы, обеспечивают защиту дуги и сварочной ванны, а флюс создает условия для удаления окисной пленки. Сварка ведется открытой дугой. Используется для сварки чистого AL и сплава АМц толщиной 10-35мм.

Электрошлаковая сварка экономически обоснована при толщине свыше 40мм. Практически этим способом сваривают металл толщиной до 200 мм. Швы получаются плотными с коэффициентом равнопрочности 0,9-0,95 на сплаве АМц и 0,8-0,9 на сплаве АМг6.

Все способы сварки Al – сплавов, для сохранения коррозийной стойкости изделия требуют тщательной послесварочной обработки с целью удаления остатков флюсов. Она производится сразу после сварки и предусматривает многократную (до травления и после травления) промывку горячей водой, травление (двухкратное) раствором азотной кислоты и зачистка поверхностного слоя с частичным его удалением. Однако и после этой обработки сварные швы имеют пониженную коррозийную стойкости и, как правило требуют принятия мер по их дополнительной коррозийной защите. С этой целью производится пассивация сварной конструкции.

Контрольные вопросы к п.2.4.

1. Перечислить известные способы сварки Al – сплавов.
2. Преимущества и недостатки плазменной и микроплазменной сварки.
3. Недостатки способов дуговой сварки с использованием флюсов.

3.Сварочные материалы.

3.1. Требование Регистра к сварочным материалам.

Сварочные материалы, применяющие для сварки конструкции изготавливающихся под техническим надзором Регистра, должны быть допущены Регистром.

Допущенные Регистром сварочные материалы на пачке или другой упаковке, а также в документе, сопровождающем партию сварочных материалов, помимо других сведений должны иметь запись : «Допущено Морским Регистром судоходства».

Сварочный материал допускается Регистром на основании рассмотрения им технической документации, характеризующий сварочный материал и область его применения, а также на основании результатов испытаний, выполненных под надзором Регистра по согласованной Регистром программе.

Процедура проведения испытаний и получения допуска известна под названием «Одобрение». Испытание сварочных материалов производится по инициативе предприятия изготовителя.

После получения допуска, оформленного свидетельством о допуске, в течении всего срока установленного Свидетельством о допуске, ежегодно , в присутствии инспектора регистра, изготовитель сварочных материалов подтверждает свойства и качество материалов повторными испытаниями.

Любые изменения свойств, химического состава одобренного сварочного материала или технологии его производства требуют проведения повторных испытаний.

Если сварочный материал для получения шва не требует никаких дополнительных материалов, как например покрытые электроды, то испытанием подтверждается только этот материал и только на него оформляется свидетельство о допуске. Сварочные материалы для Tig, Mig, Saw- сварки, как правило применяются в сочетаниях : проволока + защитный газ, проволока + флюс.

В этом случае одобряется сочетании и свидетельство о допуске выдаются на сочетание.

Если сварочный материал, используемый в сочетании требуется применить с другим сварочным материалом, то новое сочетание не будет являться одобренным Регистром даже в том случае, если каждый из материалов был подвергнут испытаниям, но в других сочетаниях. Например, проволока Св-АМ$_2$6 одобрена сочетаниями : Св-АМг6 + Ar100% требуется использовать ее в сочетании : Св-АМг6+ He100%. Защитный газ одобрен в сочетании : Св 1557 + He100%.

Сварочный материал, предназначенный для сварки конкретного Al-сплава, должен испытываться на этом сплаве.

Контрольные вопросы к п. 3.1.

1. Каким образом должно подтверждаться, что сварочный материал допущен Регистром?
2. Что принимается Регистром во внимание при оформлении Свидетельства о допуске сварочного материала или сочетания ?

3. Дает ли наличие допуска Регистра на материал право использовать его при сварке любой категории (марки) Al-сплава?
4. Что понимается под сочетанием сварочных материалов ?

3.2. Одобрение Регистром сочетаний сварочных материалов.

Одобрение сварочных материалов производится по заявке изготовителя сварочного материала, а в случае сочетания проволока – газ, на заявке изготовителя проволоки.

В составе технической документации изготовитель представляет Регистру сведения о сварочном материале и сочетании: хим.состав наплавленного металла, механические и технологические свойства наплавленного металла и сварного соединения, технологию и режимы сварки, технологию изготовления сварочного материала, методы контроля качества.

По разработанной изготовителем и согласованной с Регистром Программа выполняется сварка проб и производится испытание под надзором Регистра.

Для сочетаний проволока-газ, предназначенных для сварки конкретного сплава свариваются три стыковые и три тавровые пробы.

Стыковые пробы изготавливаются из листового материала:

- одна проба толщиной 5 мм или ниже;
- одна – около 10 мм;
- одна – более 10 мм.

Сварка проб производится в нижнем положении. Разделка кромок выполняется согласно обычной практике, способ сварки определяется назначением проволоки: Tig или Mig.

Размеры проб должны быть достаточными для изготовления всех требуемых образцов с учетом возможных повторных испытаний.

Из каждой сваренной стыковой пробы должны быть вырезаны и испытаны:

- три плоских образца поперек шва для испытания на растяжение сварного соединения; усиление шва перед испытанием не снижается;
- три образца на изгиб с поперечным швом; усиление перед испытанием должно быть снято. Образец должен изгибаться так, чтобы в зоне растяжения был проход, который сваривался последним;
- три цилиндрических образца, вырезанных вдоль шва, для испытания на растяжение металла сварного шва. Образцы изготавливаются только из проб толщиной 10мм и более.

Результаты испытаний вышеуказанных образцов должны соответствовать табл.3.2-1

Образцы					
из сварного соединения		из металла шва			
Rm	Угол изгиба	Rm,МПа	Rp 0,2, МПа	A5,%	Z, %
Не менее Rm основного металла в мягком состоянии	Не менее 120^0 на оправке равной четырехкратной толщине образца	Подлежит особому рассмотрению Регистром			

Тавровые пробы собираются без зазора. Нижней пластине придается дополнительная жесткость посредством приварки поперечных ребер. Сварка производится в положении «в лодочку». Угловые швы должны быть многопроходными и выполнены на максимальном токе, который рекомендуется изготовителем для данной марки и диаметра проволоки. Одна из трех тавровых проб сваривается проволокой минимального диаметра, другая – проволокой максимального диаметра, третья – проволокой среднего диаметра.

Пробы испытываются на излом. Оценка производится по виду излома, пористости, трещинам и другим порокам. В изломе не должно быть дефектов больше, чем допускается для радиографического метода контроля.

Контрольные вопросы к п.3.2.

1. Какие свойства металла шва и сварного соединения определяются при одобрении сочетания проволока-газ используемого для сварки Al –сплавов?

2. Какие типы проб подлежат сварке при одобрении сварочных материалов для Al –сплавов.
3. Требования Регистра к сварному соединению из Al –сплавов.

3.3. Марки и назначение сварочных материалов

К основным материалам для Tig и Mig – сварки относят присадочную проволоку (сварочную проволоку и прутки) и защитный газ. Вольфрамовые электроды являются вспомогательным материалом, используемым при Tig – сварке и при одобрении сочетания во внимание не принимаются.
Как следует из требований Регистра, сварочные материалы (присадочная проволока) должны обеспечивать, при наличии стандартного усиления на станковом шве, равнопрочность, т.е. разрушение образца при статическом растяжении должно происходить при напряжениях не ниже минимального значения Rm (временного сопротивления разрыву). При этом совместная пластичность шва и основного металла в составе соединения должна быть такой величины, чтобы угол изгиба при испытаниях был не ниже 120°. Это соответствует приращению длины растянутого волокна образца на 11% и более.
Это возможно обеспечить, если для конкретного Al-сплава будет использоваться сварочная проволока, дающая металл шва близкий по свойствам основному металлу в отожженном состоянии.
Если разница в свойствах металла шва и основного металла будет выпадать на интервал (0,9÷1,1) результаты испытаний по одному из показателей могут быть неудовлетворительными.
На практике для каждой марки основного металла выбирают соответствующий присадочный металл для конкретного способа сварки.

3.3.1. Сварочная проволока.

Проволока сварочная из Al и Al-сплавов изготавливается по ГОСТ 7881 и поставляется в катушках или бухтах. ГОСт предусматривает, что проволока должна изготавливаться диаметром от 0,8 до 12,5 мм, 25 диаметров.

Однако металлургическая промышленность не поставляет проволоку по всему диапазону диаметров, ограничивая производство диаметрами от 2 до 6 мм.

По химическому составу поставляется проволока из Al и Al-сплавов 14 марок:
- 4 марки – для сварки алюминия;
- 1 марка – для сварки Al - Mn - сплавов;
- 6 марок – для сварки Al - Mg - сплавов;
- 3 марки – для сварки Al - Si – сплавов (отливок).

ОСТ5.9153-84 «Дуговая сварка Al-сплавов в защитных газах. Основные положения», устанавливает следующие марки сварочной проволоки, для сварки Al-сплавов (табл. 3.3-1):

табл. 3.3-1

Марка свариваемого сплава	Марка сварочной проволоки
1013(АД 1)	Св А97; Св А5
1520(АМг 2), 1530 (АМг 3)	Св Амг 3; Св Амг 5
1400 (АМц)	Св АМц
1543 (АМг 4), 1550 (АМг 5)	Св АМг 5; Св АМг 6, Св АМе 61
1560 (АМг 6)	Св АМг 6; Св АМг 61, Св 01577ч*
1561Н (АМг 61Н)	Св АМг 61; Св 01577ч*
1561 (АМг 61), 1985чТ (АМг62Т)	Св АМг 61; Св 01577ч*; Св 01577пч*
1980Т1 (В48-4Т1)	Св 1557; Св АМг 61; Св 01577ч*

*проволока поставляемая по ТУ-809-506-81

Диаметр проволоки выбирается в зависимости от способа сварки и сечения прохода сварного шва. Как правило. Площадь поперечного сечения одного прохода примерно равна площади сечения присадочного прутка при Tig – сварке. При Mig – сварке наибольшая стабильность процесса обеспечивается при использовании диаметров от1,0 до 1,4 мм.

3.3.2. Защитные газы

Как правило, в качестве защитного газа при сварке конструкций под надзором Регистра, должны использоваться те газы, в сочетании с которыми одобрена Регистром сварочная проволока. Для Tig и Mig-сварки Al-сплавов наиболее широко в качестве защитного газа используются аргон (Ar) по ГОСТ 10157 высшей или первой категории качества. Аргон высшей категории имеет чистоту 99,993% и содержание паров воды по «точке росы» ниже минус 59°.
Также в качестве защитного газа может использоваться гелий (He) высшей чистоты по ТУ 51-940-80 или смесь He+ Ar, если они входили в состав сочетания при одобрении.

3.3.3. Неплавящиеся электроды.

Являются вспомогательным сварочным материалом и специальному одобрения Регистра не подлежат. ОСТ5.9153-84 рекомендует использовать для Tig-сварки вольфрамовые прутки диаметром от 1,5 мм и более марки ЭВЧ по ГОСТ 23949-80 и ТУ 48-19-39-79.

3.4. Правила хранения и использования сварочных материалов.

До предзапусковой обработки сварочных материалов условия их хранения должны исключать:
- порчу сварочных материалов;
- обезличивание;
- нарушение дееспособности упаковки.

Сварочная проволока перед ее использованием подвергается правке, рубке и химической обработке.

На всех этих операциях должна исключаться порча проволоки и ее обезличивание или перепутывание марки, плавки, партии.

Готовая к использованию проволока должна храниться в специальных контейнерах. Маркировка травленой проволоки должна содержать: марку, диаметр, партию или плавку, дату очистки. При обращении с подготовленной проволокой не допускается касаться ее поверхности руками не защищенными специальными чистыми перчатками. Срок хранения проволоки не должен превышать 3-х суток. По истечении этого срока проволока подлежит повторному травлению. Трехкратная химическая обработка не допускается.

Проволока, обработанная электрохимическим способом хранится в герметичной упаковке (полиэтиленовые мешки) с контрольным пакетом обезвреженного силикагеля. Гарантированный срок хранения не более 1 года. При нарушенной герметичности упаковки срок хранения проволоки с электрохимической обработкой поверхности сокращается до 10 суток.

В зарубежной практике для удаления окисной пленки используется механическая очистка (протирание прутка «металло-ватой» непосредственно перед использованием).

Вольфрамовые прутки перед использованием режутся на электроды и выполняется их заточка.

Защитные газы, поставляемые в сжатом состоянии, не требуют предзапусковой подготовки, однако в ряде случаев на заводах-потребителях производится входной контроль защитных газов, т.к. содержание паров воды в баллоне зависит в том числе и от состояния баллона.

4. Технологический процесс сварки.

Технологический процесс – это регламентированная последовательность изготовления изделия, содержащая оптимальную совокупность технологических операций, реализуемых на конкретном оборудовании и оснастке с применением конкретного инструмента, способов и приемов выполнения работ. Технологические операции, способы, приемы, оборудование, оснастка и инструмент выбираются или проектируются на основе технологий.

Технологией называют науку прикладного характера, занимающуюся созданием способов и приемов работ и созданием технических средств для их реализации.
Известно большое количество технологий:

- Технология линейного производства,
- Технология практики,
- Технология резки (газовой, плазменной, машинной, разделительной, лазерной, фрикционной)
- Технология свободной ковки
- Технология штамповки
- Технология обработки металлов резанием
- Технология сборки
- Технология сварки (дуговой, контактной, холодной, лучевой и т.п.)
- Технология контроля
- Технология испытаний на герметичность и т.п.

Технологический процесс сварки документально не разрабатывается в форме отдельного технологического документа; он является частью технологического процесса изготовления изделия в целом или отдельных частей изделия.
Под понятием технологический процесс сварки подразумевают совокупность технологических операций, предшествующих сварке, выполняемых для её обеспечения, непосредственно процесс сварки и послесварочные операции.
В составе технологического процесса сварки принято выделять:

- Подготовку под сварку, включающую операции по разделке кромок, операции по созданию чистоты свариваемых поверхностей и операции по предварительному взаимному закреплению соединяемых деталей. Как правило, в состав подготовки включаются опрации по предупреждению недопустимых сварочных деформаций;
- Сварку, представляющую одну или несколько операций, как например, кантовка, обработка корня шва, предварительный подогрев, сопутствующий подогрев и т.п.
- Контроль качества сварного соединения, которому может предшествовать так же несколько видов различных операций: обмер швов, подварка, зачистка, разметка под контроль, удаление временных креплений и т.п.

4.1. Подготовка соединений под сварку. ГОСТ 14806.

Технология сварки, исходя из условий обеспечения качества сварной конструкции, требует:

- Обеспечения чистоты поверхности соединяемых деталей. Как правило, подлежащие сварки поверхности и прилежащие к сварному шву поверхности в зоне 20-25мм от его границ, должны быть чистыми, без наличия краски, масла, грязи. На Al-сплавах стремятся, чтобы окисная пленка была минимальной.
- Создание условий для получения сварного шва требуемого поперечного сечения. Для равнопрочных стыковых и угловых швов это условие обозначает, что до сварки (при подготовке под сварку), если невозможно обеспечить проплавление кромок на всю толщину соединяемых листов, на кромках выполняется разделка, создающая возможность, получения полного проплавления их в процессе сварки.
- Исключение взаимного смещения свариваемых деталей под действием сварочных усадок и тепловых перемещений, вызываемых сварочным нагревом.

Очистка поверхности свариваемых деталей Al-деталей выполняется:

- Для мелких деталей – химическое травление всей поверхности,
- Для крупных деталей механическая зачистка.

Химическое травление может быть единственной операцией по очистке поверхности под сварку, если сварка может быть выполнена в течение 3-х суток с момента травления. В противном случае, кромки, подлежащие сварке, зачищаются непосредственно перед сваркой металлической щеткой.
При выполнении сварки Al-сплавов необходимо учитывать:

- Правилами Регистра и нормативной документацией на сварку запрещено производить зачистку под сварку абразивными инструментами: шкуркой, наждачной бумагой, наждачным кругом!
- После плазменной резки кромки, подвергающиеся сварке, подлежат механической обработке. Припуск на механическую обработку должен составлять: 2мм – при машинной резке и 3мм – при ручной резке.
- Кромки, подлежащие сварке на высокопрочных сплавах, после гильотинной резки подлежат механической обработке на глубину не менее 2мм.
- Для зачистки требуется использовать металлические щетки из нержавеющей стальной проволоки.

Разделка кромок под сварку, если она требуется для обеспечения прочности сварного соединения, на Al-сплавах должна выполняться в соответствии с ГОСТ 14806-80.

Al-сплавы из-за высокой теплопроводности вызывают затруднения по проплавлению соединяемых кромок. Это находит отражение в ГОСТ 14806-80. В сопоставлении со стандартами на типы швов, разработанные для сталей, ГОСТ 14806-80 предусматривает больший угол разделки кромок. Этим же обстоятельством вызвана меньшая, чем для стали, допускаемая разность толщин в стычковых соединениях, где встык свариваются детали разной толщины (рис. 4.1.-1)

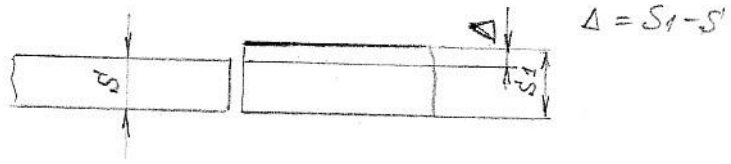


Рис. 4.1.-1

Табл.4.1.-1

S, мм	Δ, не более, мм
0,8-30	0,5
Св3,0-5,0	1,0
Св5,0-12,0	1,2
Св12,0-25,0	1,5
Св25,0-60,0	3,0

Так же с учетом теплопроводности ГОСТ 14806-80 установлены параметры скоса кромок в стычковых соединениях, где Δ превышает значения указанные в табл. 4.1.-1 (рис. 4.1-2)

Односторонний скос Двухсторонний скос

Рис. 4.1-2

И последняя особенность ГОСТ 14806-80, затрагивающая подготовку соединений под сварку, это требование п.5 ГОСТ: «Кромки свариваемых деталей должны быть обработаны механическим способом, при этом шероховатость обрабатываемой поверхности должна быть не более R_z 40 мкм по ГОСТ 2789-73» (Гильотинная резка такой частоты не обеспечивает). Закрепление деталей при сборке под сварку, должно исключать взаимное перемещение свариваемых кромок в процессе теплового воздействия сварки. В связи с этим ОСТ 5.9153-84 (основные положения на сварку) регламентирует длину и шаг прихваток, устанавливаемых при сборке стыковых, угловых и тавровых соединений. Требования этого ОСТа к сборке на прихватках приведены в табл. 4.1-2

Таблица 4.1-2

Толщина свариваемой детали. мм	Длина прихватки, мм	Расстояние между прихватками, мм
2,0-4,5	20-25	100-150
5,0-8,0	30-35	150-200
10,0-16,0	40-50	200-250

Примечание:

Отстояние прихватки От концов соединения должно быть не менее

18,0-25,0	60-80	250-300	10 мм.
Св 25,0	90-100	300-350	

Прихватки, как правило, входят в состав шва. Исходя из этого, к прихваткам предъявляются следующие требования:

1. При выполнении прихваток использовать тот же присадочный металл, которым должен вариться шов.
2. На прихватках не допускаются трещины, поры, подрезы, незаваренные кратеры (любые дефекты выявленные внешним осмотром)
3. Перед сваркой прихватки должны защищаться проволочной щеткой из нержавеющей стали.
4. К выполнению прихваток допускаются сварщики:

- не ниже 2 разряда, где не требуется более высокой,
- не ниже 3 разряда на монтажных соединениях.

Кроме прихваток при сборке используются эластичные крепления: гребенки, телрепы, скобы, струбцины.

На любых конструкциях количество приварных креплений должно быть минимально-необходимым. На конструкциях из высокопрочных сплавов приварные крепления снижают надежность изделия. Поэтому места их проверки, после удаления и зачистки контролируют цветным методом капиллярной дефектоскопии по ОСТ 5.9537-80 (п.1.4.15 ОСТ 5.9644-76)

4.2. Обозначение сварных швов на чертежах

Чертеж- основной документ на изготовление сварной конструкции. Он содержит минимально-необходимый объем информации для производства сварной конструкции, отвечающей условиям эксплуатации. Эта информация содержит:

1. Расположение сварных соединений в составе изделия.
2. Типы и конструктивные элементы сварных соединений.
3. Требования к качеству швов и методы их контроля и испытаний в составе изделия.
4. Необходимый уровень прочности сварных соединений и условия его обеспечения.
5. Способы сварки сварных швов, если это необходимо для обеспечения эксплуатационной надежности.

В технически обоснованных случаях чертежом может быть задано количество проходов и даже очередность их выполнения. Вся эта информация в чертеже представлена в двух формах:

- в условных обозначениях и изображениях;
- в текстовой части чертежа.

В текстовой части чертежа, называемой техническими требованиями, как правило, в виде адресования к стандартам или другим нормативным документам, излагается информация п.3,4 и 5.

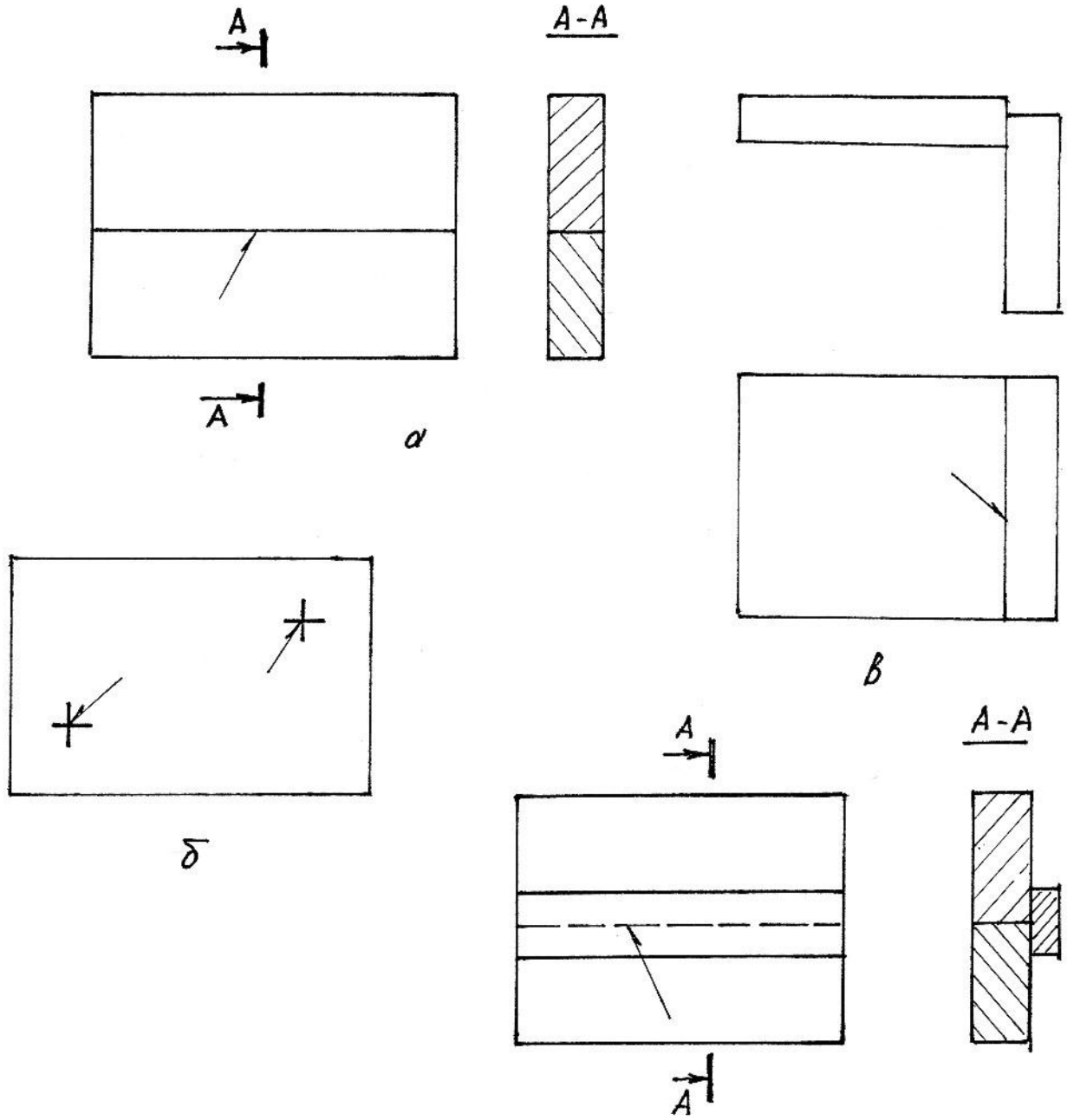
На графике чертежа дается расположение сварных соединений с использованием единых правил их изображения. Эти правила устанавливает ГОСТ 2.312:

«1.1 Шов сварного соединения независимо от способа сварки условно изображают:

видимый – сплошной основной линией (черт. 1а,в);

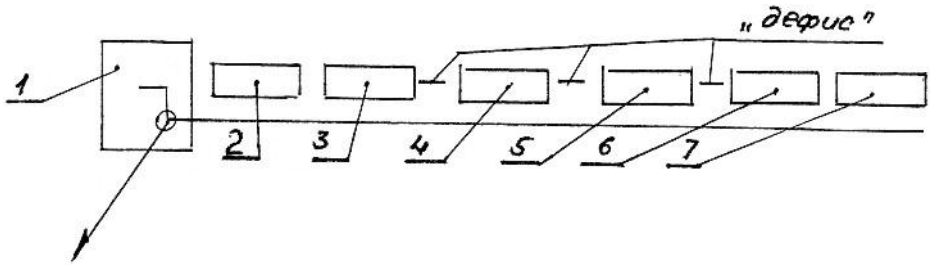
невидимый – штриховой линией (черт. 1г)…

от изображения шва или одиночной точки проводят линию выноску, заканчивающуюся отдносторонней стрелкой (см. черт.1). Линию-выноску предпочтительно проводить от изображения видимого шва.



Чертеж 1

Остальная информация о шве дается с использованием условных обозначений швов. Структура условного обозначения стандартного шва приведена на черт.2



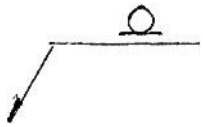
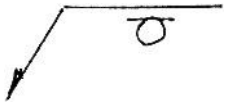
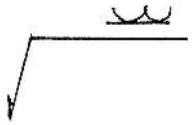
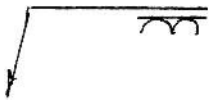
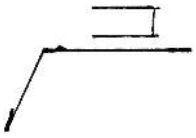
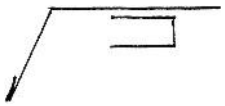
1. Вспомогательные знаки шва: «по замкнутой линии», «монтажный»
2. Стандарт на жилы и конструктивные элементы швов сварных соединений
3. Буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту (знак 2)
4. Условное обозначение способа сварки по стандарту (знач 2) (допускается не указывать)
5. Знак Δ и размер катета
6. Для прерывистого шва – размер длины провариваемого участка, знак 1 или Z и размер шага.

7. Вспомогательные знаки по таблице 4.2-1

Черт. 2

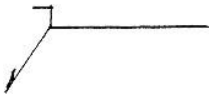
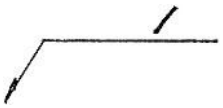
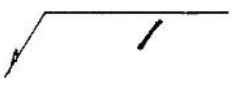
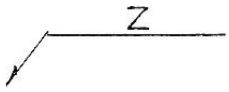
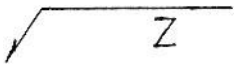
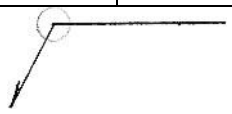
Вспомогательные знаки под № 7 в структуре обозначения шва дают дополнительную информацию, которая отсутствует в поз. №№ 1 и 6.

Табл. 4.2-1

Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно полки линии - выноски	
		С лицевой стороны	С обратной стороны
	Усиление шва снять		
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов по незамкнутой лини. Знак применяют, если, расположение шва ясно из чертежа.		

Вспомогательные знаки поз.№№ 1 и 6 приведены в таблице 4.2-2

Табл. 4.2-2

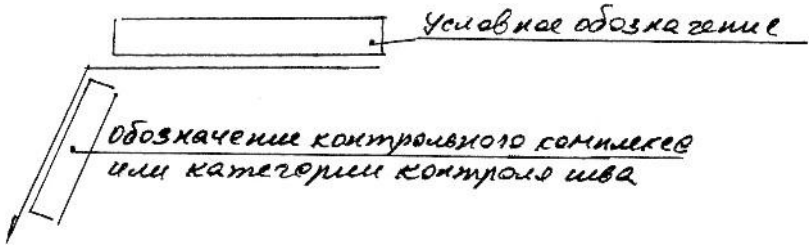
Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно полки линии - выноски	
		С лицевой стороны	С обратной стороны
	Монтажный шов		
	Прерывистый шов		
	Прерывистый шов с шахматным расположением		
	Шов по замкнутой линии		

Условное обозначение шва располагают:
- для видимого шва – над полкой лини-выноски
- для невидимого шва- под полкой линии-выноски

Для нестандартных швов, ГОСТ 2.312- в структуре условного обозначения шва опускает поз. №№2,3,4,5. К нестандартным швам ГОСТ 2.312 – относит швы, размеры конструктивных элементов которых стандартами не установлены. Эти швы обычно изображаются на поле чертежа.

В необходимых случаях в условное обозначение шва включают требуемую шероховатость поверхности шва. Знак чистоты обработки располагается за условным обозначением шва с той стороны полки, которая соответствует стороне обработки.

Если для сварного шва установлен контрольный комплекс или категория контроля шва, то их обозначение помещают под линией - выносной, чертеж 3.

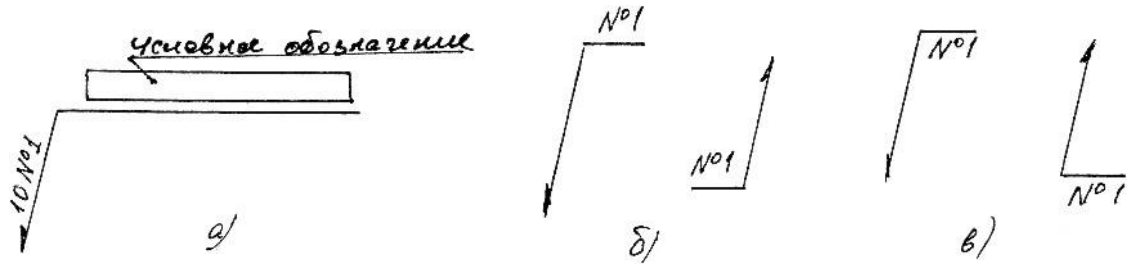


При наличии на чертеже одинаковых швов обозначение наносят у одного из изображений, а от изображений остальных одинаковых швов проводят линии – выноски с полками. Всем одинаковым швам присваивают один порядковый номер, который наносят:

а) На линии – выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением шва (чертеж 4а)

б) на полке линии – выноски, проведенной от изображения шва, не имеющего обозначения, с лицевой стороны (чертеж 4б)

в) под полкой линии – выноски, проведенной от изображения шва не имеющего обозначения, с обратной стороны шва (чертеж 4в)



Чертеж 4

Количество одинаковых швов указывают на линии-выноски, имеющей полку с условным обозначением шва (чертеж 4а)

ГОСТ 2.312 – допускает следующие упрощения:

- при наличии на чертеже швов, выполняемых по одному и тому же стандарту, обозначение стандарта указывают в технических требованиях чертежа или таблице.

- допускается не присваивать порядковый номер одинаковым швам, если все швы на чертеже одинаковы и изображены с одной стороны (лицевой или обратной). При этом швы, не имеющие обозначение, отмечают линиями-выносками без полок (чертеж 5)

Чертеж 5

4.3. Международные условные обозначения (в рамках Свидетельства о допуске)

В практике работы Госгортехнадзора, в т.ч. Котлонадзора, Энергонадзора, Атомнадзора и Регистров международные стандарты и Евронормы стали с 1991-92 г.г. основными нормативными документами. Это обстоятельство требует от предприятий, работающих под техническим надзором этих органов, придерживаться в своей документации международных и общеевропейских стандартов.

В области сварки Международные стандарты разрабатываются Международным институтом сварки, а для Европы руководящим органом является Комитет ЕЭС.

До распада Социалистического лагеря действовал орган стандартизации под эгидой СЭВ. В настоящий момент стандарты СЭВ пока остаются в силе, так как для них нет альтернативы в базе национальных стандартов России или JSO.

Далее приведен необходимый объем сведений по международным и европейским стандартам, которые используются Регистром по вопросам сварки и испытания сварщиков на допуск.

Условные обозначения,
используемые Регистром в свидетельстве
о допуске сварщика

Процесс сварки

MW = ручная сварка; SA = полуавтоматическая сварка;

A = автоматическая сварка.

Способ сварки:

111 = дуговая сварка покрытыми электродами;
114 = дуговая сварка порошковой проволокой без дополнительной газовой защиты;
12 = дуговая сварка под слоем флюса;
15 = плазменная сварка;
131 = дуговая сварка сплошной проволокой в среде инертного газа;
135 = дуговая сварка сплошной проволокой в среде активного защитного газа;
136 = дуговая сварка порошковой проволокой в среде активного защитного газа;
141 = дуговая сварка неплавящимся (вольфрамовым) электродом в среде инертного газа;
311 = газовая (ацетилено-кислородная) сварка.

Пластина или труба: P = лист ; T = труба.

Тип соединения:

BW = стыковой шов

FW = угловой (валиковый) шов

sr = однопроходная сварка

mr = многопроходная сварка

Пример:

BW: SS(sr) mb

SS = сварка односторонним швом

bs = сварка двусторонним швом

nb = сварка без подкладок
mb = сварка с применением подкладок
gb = сварка с подачей защитного газа

gg = сварка со строжкой или зачисткой корня шва
ng = сварка без строжки или зачистки корня шва

Состав защитного газа:

Группы составов защитного газа:

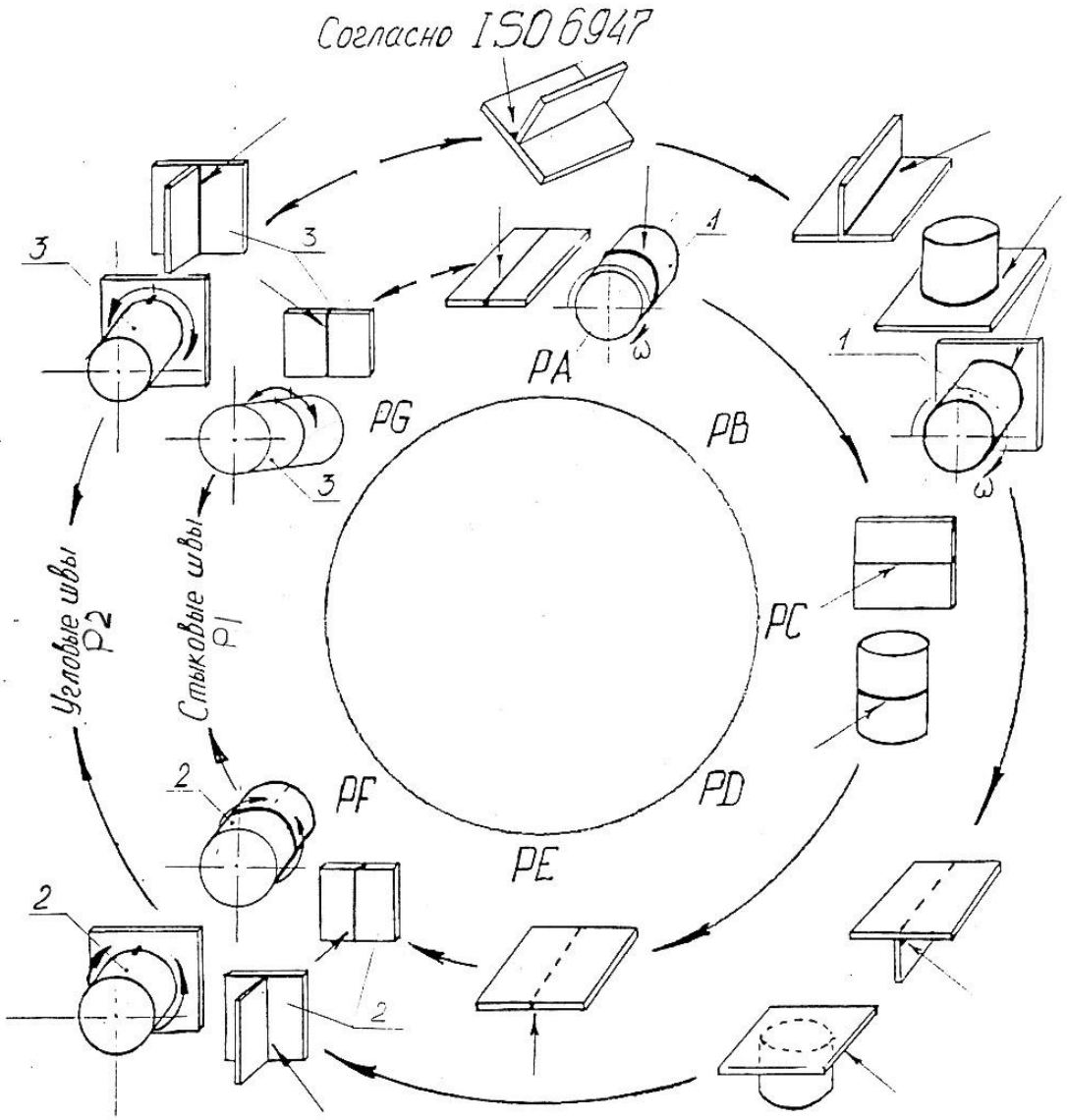
Группа	Состав газа
I-1	Ar = 100 %
M3-1	Ar = 80% + CO_2 = 20%
C-2	CO_2 = 100%

Подпись и дата | Инв. № дубл. | Взамен инв. № | Подпись и дата | Инв. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СТП МЗ – 033 - 98

Лист



P1:PA – стыковое соединение в нижнем положении.
P1:PF или P1:PG – стыковое соединение в вертикальном положении.
P1:PC – стыковое соединение в горизонтальном положении.
P1:PE – стыковое соединение в потолочном положении.
P2:PA – угловое соединение в нижнем положении.
P2:PB – угловое соединение в горизонтальном положении.
P2:PF или P2:PG – угловое соединение в вертикальном положении.
P2:PD – угловое соединение в потолочном положении.

Примечание:
1. Требуется подкантовка в процессе сварки.
2. Сварка в вертикальном положении методом „снизу-вверх". Деталь неподвижна.
3. Сварка в вертикальном положении методом „сверху – вниз". Деталь неподвижна.

Подпись и дата | Инв.№ дубл. | Взамен инв.№ | Подпись и дата | Инв.№ подл.

Изм	Лист	№докум.	Подп.	Дата	СТП МЗ – 033 - 98	Лист

Условные обозначения используемые Регистром в Свидетельстве о допуске сварщика

Процесс сварки:

MW = ручная сварка; SA = полуавтоматическая сварка;

A = автоматическая сварка.

Способ сварки:

111 = дуговая сварка покрытыми электродами;
114 = дуговая сварка порошковой проволокой без дополнительной газовой защиты;
12 = дуговая сварка под слоем флюса;
15 = плазменная сварка;
131 = дуговая сварка сплошной проволокой в среде инертного газа;
135 = дуговая сварка сплошной проволокой в среде активного защитного газа;
136 = дуговая сварка порошковой проволокой в среде активного защитного газа;
141 = дуговая сварка неплавящимся (вольфрамовым) электродом в среде инертного газа;
311 = газовая (ацетилено-кислородная) сварка.

Пластина или труба: P = лист ; T = труба.

Тип соединения:

BW = стыковой шов
FW = угловой (валиковый) шов
sr = однопроходная сварка
mr = многопроходная сварка

Пример:

BW: s s (sr) mb

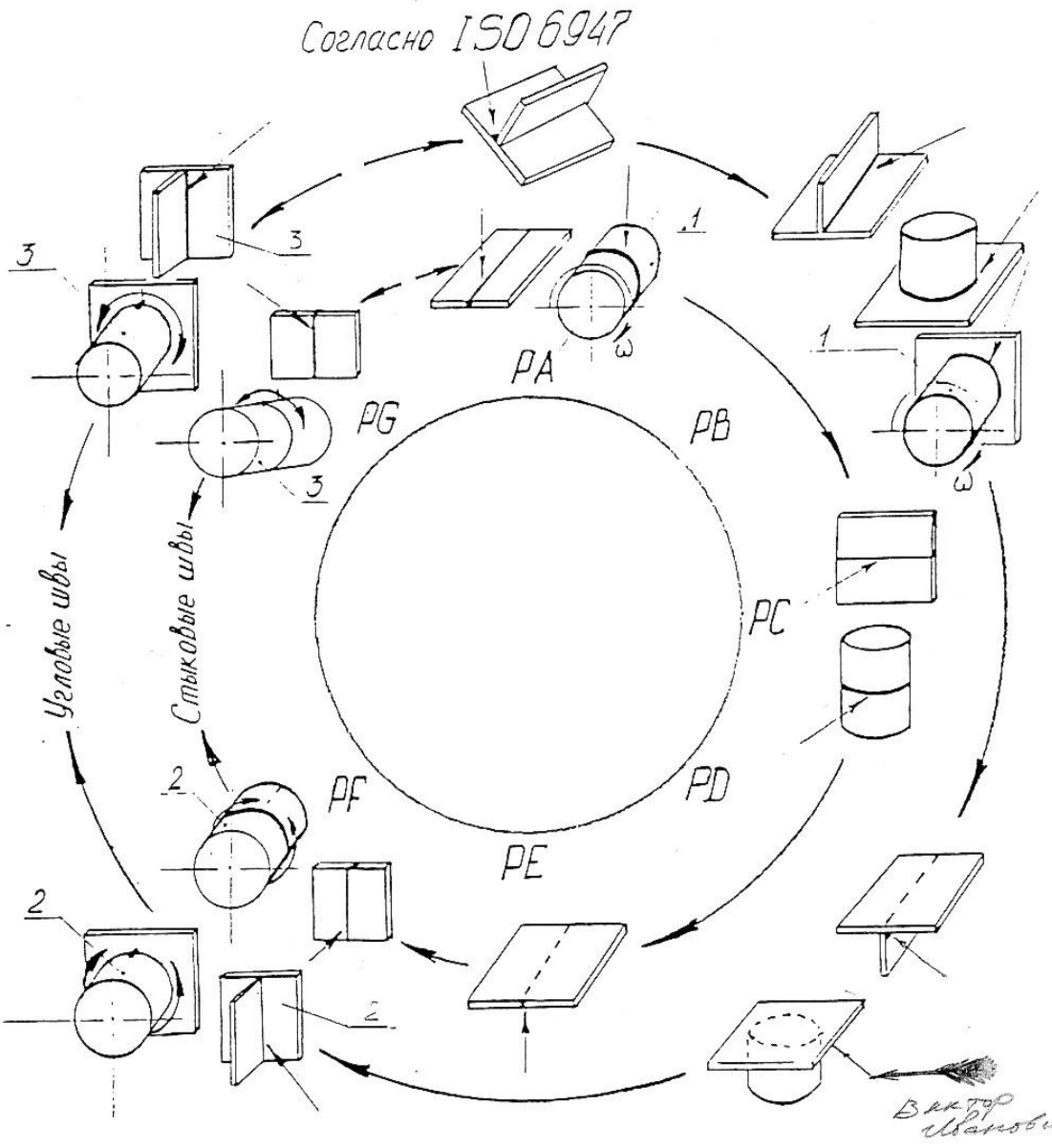
ss = сварка односторонним швом
bs = сварка двусторонним швом

nb = сварка без подкладок
mb = сварка с применением подкладок
gb = сварка с поддувом защитного газа
gg = сварка со строжкой или зачисткой корня шва
ng = сварка без строжки или зачистки корня шва

Состав защитного газа:

Группы составов защитного газа:

Группа	Состав газа
I-1	Ar = 100 %
М3-1	Ar = 80% + CO_2 = 20%
С-2	CO_2 = 100%



Виктор Иванович.

P1:PA – стыковое соединение в нижнем положении.
P1:PF или P1:PG – стыковое соединение в вертикальном положении.
P1:PC – стыковое соединение в горизонтальном положении.
P1:PE – стыковое соединение в потолочном положении.
P2:PA – угловое соединение в нижнем положении.
P2:PB – угловое соединение в горизонтальном положении.
P2:PF или P2:PG – угловое соединение в вертикальном положении.
P2:PD – угловое соединение в потолочном положении.

Примечание:
1. Требуется подкантовка в процессе сварки.
2. Сварка в вертикальном положении методом „снизу-вверх". Деталь неподвижна.
3. Сварка в вертикальном положении методом „сверху-вниз". Деталь неподвижна.

Подпись и дата | Инв.№ подл. | Взамен инв.№ | Инв.№ | Подпись и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	СТП МЗ – 033 - 98	Лист

Условные обозначения,
используемые Регистром в свидетельстве
о допуске сварщика

Процесс сварки

MW = ручная сварка; SA = полуавтоматическая сварка;

A = автоматическая сварка.

Способ сварки:

111 = дуговая сварка покрытыми электродами;
114 = дуговая сварка порошковой проволокой без дополнительной газовой защиты;
12 = дуговая сварка под слоем флюса;
15 = плазменная сварка;
131 = дуговая сварка сплошной проволокой в среде инертного газа;
135 = дуговая сварка сплошной проволокой в среде активного защитного газа;
136 = дуговая сварка порошковой проволокой в среде активного защитного газа;
141 = дуговая сварка неплавящимся (вольфрамовым) электродом в среде инертного газа;
311 = газовая (ацетилено-кислородная) сварка.

Пластина или труба: P = лист ; T = труба.

Тип соединения:

BW = стыковой шов

FW = угловой (валиковый) шов

sr = односторонняя сварка

mr = многопроходная сварка

Пример:

BW: ss(sr) mb

ss = сварка односторонним швом

ds = сварка двусторонним швом

nb = сварка без подкладок
mb = сварка с применением подкладок
gb = сварка с подачей защитного газа
gg = сварка со строжкой или зачисткой корня шва
ng = сварка без строжки или зачистки корня шва

Состав защитного газа:

Группы составов защитного газа:

Группа	Состав газа
I-1	Ar = 100 %
M3-1	Ar = 80% + CO_2 = 20%
C-2	CO_2 = 100%

Подпись и дата | Инв.№ дубл. | Взам. инв.№ | Подпись и дата | Инв.№ подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СТП МЗ – 033 - 98

Лист

4.4. Спецификация процесса сварки СПС (WPS)

В отечественной практике аналогом этого документа является *технологическая карта сварки.* Однако в силу исторических причин в технической терминологии надзорных органов она получила вышеуказанное название.

В зарубежной практике WPS является, как правило, единственным технологическим документом, разрабатываемым и используемым промышленностью. Ему уделяется очень серьезное внимание, т.к. основой его утверждения являются результаты практических испытаний.

СПС (WPS) при работе с надзорными органами (Регистром) имеет следующие целевые назначения:

- проведение одобрения технологического процесса сварки. С этой целью составляется 1 редакция СПС (WPS)
- проведение практических испытаний сварщиков. Для этого составляется специальная редакция СПС (WPS) с расчетом того, чтобы минимальным числом проб охватить область одобрения Допуска сварщика соответствующую текущим и перспективным потребностям производства
- регламентация выполнения сварки использованных в составе конкретного изделия типов соединений с учетом особенностей их практического выполнения. Это находит отражение в рабочем комплекте СПС (WPS), привязанного к конкретному проекту (заказу)

Ниже приведены образцы СПС (WPS) рабочего варианта заказа 101.

Рабочие сварщики должны уметь читать СПС (WPS) и обеспечивать соблюдение установленных в этом документе условий сварки.

Незнание или отсутствие умения правильно использовать СПС (WPS) может явиться причиной:

- *отстранения от проведения практических испытаний,* т.к. технический инструктаж по технологии сварки пробы при практических испытаниях не допускается из условия, что подготовленный сварщик в состоянии правильно выполнить работу, ознакомившись с СПС (WPS).
- *лишение допуска*, т.к. при работе с Допуском любые вопросы по квалификации сварщика являются поводом для лишения допуска.

4.5. Одобрение сварочной технологии Регистром.

1. Сварочные технологии (а правильнее технологические процесса), применяемые при изготовлении подлежащих надзору Регистра конструкций, должны быть одобрены Регистром и удовлетворять изложенным ниже требованиям.

2. Одобрение производится на основании рассмотрения соответствующей документации и результатов испытаний, выполненных по согласованной с Регистром программе.

3. Документация, предъявляемая в Регистр должна содержать следующие сведения:

- основные материалы, используемые при изготовлении конструкций (марка, категория, вид полуфабриката и т.п.)
- типы конструкций их назначение и условия эксплуатации, последовательность сборки;
- способы сварки, включая технику исполнения;
- оборудование (описание, периодичность проверок и испытаний);
- сварочные материалы (тип, марка, категория, условия поставки и хранения);
- положения сварки, типы соединений, наличие грунта, последовательность формирования швов, полярность тока и т.п.;
- информация об используемых подкладках, технология прихватки;
- условия выполнения сварки (температура, осадки, предварительный подогрев, термообработка и т.п.)

4. Сведения о существующей на предприятии системе контроля качества работ, выполняемых по представляемой технологии. Требования к контролю материалов и работ; источники критерием в оценке качества.

5. Документация, содержащая критерии оценки и методы выполнения сварочных работ должна иметь соответствующее, единственное в своем роде обозначение (номер) и подлежит одобрению Регистром.

6. По одобренной Регистром программе производятся испытания сварочной технологии, ставящие целью подтверждение того, что совокупность факторов, определяющих качество сварных соединений (материалы, методы, техника, квалификация персонал) удовлетворяют как требованиям Правил Регистра, так и требованиям технологии, предложенной к одобрению.

Разделом 6, части Х1У «Сварка» Правил Регистра регламентируется объем и методы испытаний, условия выполнения сварки проб, типы и количество свариваемых проб, толщины и диаметры труб.

В сопоставлении с контролем качества сварных соединений поднадзорного регистру изделия, условия сварки объемы контроля при сварке предпринимаются более жесткие. Это обусловлено стремлением иметь больше гарантий в получении удовлетворительного результата при работе непосредственно на строящемся судне.

4.6. Порядок сдачи-приемки сборки под сварку и законченных сварных швов.

Сборка узла, секции или отдельных элементов секции завершает ответственный этап формирования изделия. Этот этап определяет конечную точность изготовления изделия и качество последующей сварки. В практике отечественного судостроения принято выполнять приемосдаточную процедуру собранной под сварку конструкции.

При приемке под сварку собранной конструкции проверяется:

- соответствие размеров и формы конструкции требованиям чертежа;
- выполнение предписанных технологией методов крепления собранных деталей, выполнение назначенных мероприятий по предупреждению деформаций, в том числе наличие учреждений и припусков;
- качество прихваток, величина зазора под сварку, геометрия подлежащих сварке соединений;
- величина отклонений, влияющих на прочность конструкции: разностенность, смещения.

Процедура сдачи-приемки, как правило, оформляется документально. Сборочный мастер, после проверки качества, выписывает официальную предъявку и передает ОТК.

ОТК производит приемочный контроль и при отсутствии отступлений и замечаний оформляет приемку документально.

В зарубежной практике процедура сдачи-приемки несколько упрощена. Контроль сборки под сварку в части зазоров, прихваток, углов разделки и т.п. производит сварщик, который должен будет выполнять сварку.

Органы технического контроля фактически выполняют функции инспекторского надзора. Эффективность этой системы обеспечивается главным образом за счет жесткости подхода к лицам допустившим нарушения.

Законченные сварные швы в отечественной практике принимаются ОТК в несколько приемов:

- контроль внешним осмотром и измерением, который завершается приемкой шва под неразрушающие методы контроля;
- приемка шва по результатам неразрушающего контроля, которая может являться так же промежуточной приемкой, например, приемкой под испытания шва на герметичность, плотность, прочность.

Паспортная сборка и сварка в судостроении имеет место главным образом на объектах военной техники. В гражданском судостроении паспорта создаются только на котлы и сосуды работающие под давлением.

Тема 6. Дефекты сварочных соединений.

Дуговая сварка сопровождается нагревом и охлаждением металла. Это термическое воздействие на металл вызывает протекание процессов, которые получили название металлургические процессы сварки. Они имеют место, как на стадии нагрева, так и на стадии охлаждения, как в твердом металле так и в расплавленном металле, как в телще твердого и жидкого металла, так и на границах его раздела с окружающей средой (границы раздела фаз) . Качество металла шва и свойства зоны технического влияния (область основного металла, подвергавшаяся термическому воз-

действию) в значительной мере зависит от характера и направленности металлургических процессов сварки. Главной особенностью металлургических процессов сварки является то, что они протекают при высоких скоростях изменения температуры(в неизотермических условиях). Это накладывает определенный отпечаток на свойства сварного соединения, порождая их неоднородность. Задачей технологии сварки является то, чтобы конечный результат обеспечивал получение свойств гарантирующих эксплутационную надежность сваркой конструкции.

Сварка Al – сплавов и сами Al – сплавы обладают рядом особенностей, которые позволяют опустить ряд металлургических процессов из рассмотрения в настоящей теме, как не имеющих принципиального значения или не имеющих места при сварке теми способами, которые нами используются, как например взаимодействие жидкого металла со шлаковой фазой (нет шлаковой фазы) или структурные превращения в основном металле (не играют принципиального влияния на качество, т.к мы имеем дело с термически неупрочняемыми сплавами).

Поэтому в настоящей теме рассмотрены только отдельные виды металлургических процессов, определяющих качество и в значительной степени влияющих на образование дефектов шва.

6.1. Причины горячих трещин и методы их исключения.

Горячими или кристаллизационными трещинами называют макроскопические и микроскопические несплошности, имеющие характер надреза и зарождающиеся в процессе кристаллизации металла шва.

Эти трещины могут развиваться при остывании в твердом металле. Их особенностью является межкристаллический вид разрушения. Они тесно связаны со структурой металла и расположены вдоль границ кристаллов. По отношению к шву они могут быть продольными и поперечными. В некоторых случаях имеет место сочетание тех и других трещин.

Горячие трещины могут выходить, а могут и не выходить на поверхность шва. Выходящие на поверхность горячие трещины выявляются визуально или капиллярной дефектоскопией.

Внутренние – методами неразрушающего контроля : радиографирование или ультразвуковым контролем.

Существуют две гипотезы, объясняющие природу горячих трещин: кристаллизационная и термомеханическая.

Кристаллизационная гипотеза :

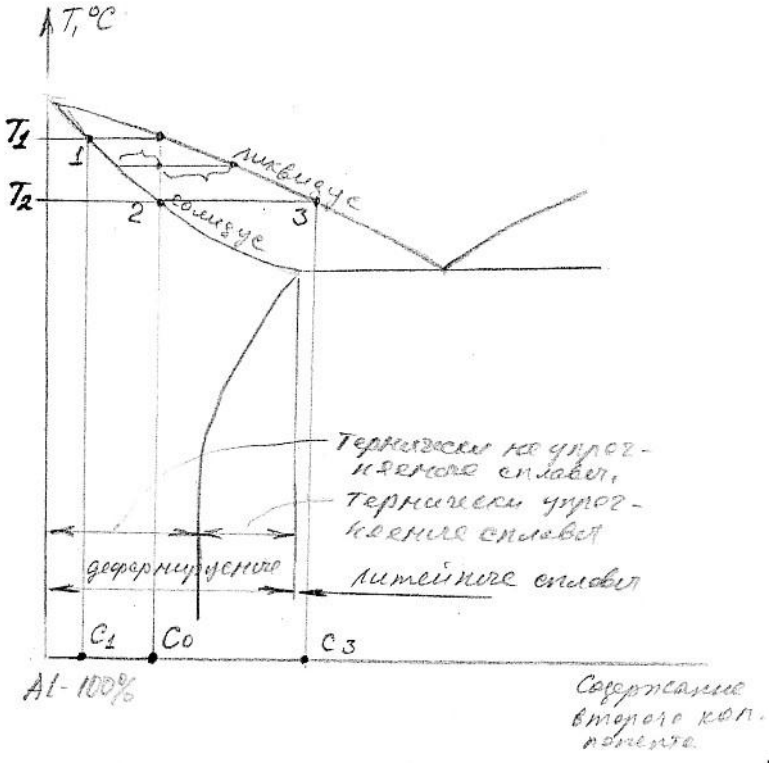


РИС 6.1.1

На рис.6.1.1 дана диаграмма состояния Al легирующий элемент. Им может быть Mg, Mn и т.п. Наличие лигирующего элемента изменяет температуру плавления сплава и растягивает по температуре процесс кристаллизации. Линия *ликвизус* соответствует температуре начала, а линия *солидус* температуре конца кристаллизации. Для сплава с концентрацией легирующего элемента Со начало кристаллизации наступит при температуре T_1. При этом из жидкости в виде твердых кристаллов выделится сплав с концентрацией легирующего компонента равной С1. По мере охлаждения кристаллизации будут подвергаться части металла с более высокой концентрацией и при температуре Те в твердый раствор перейдет металл с концентрацией от C_1 до C_0 , а металл с концентрацией от C_0 до C_3 будет находиться в жидком состоянии. Это явление получило название ликвация (неоднородность). При сварке ликвация является причиной создания химической неоднородности по сечению шва (прохода).

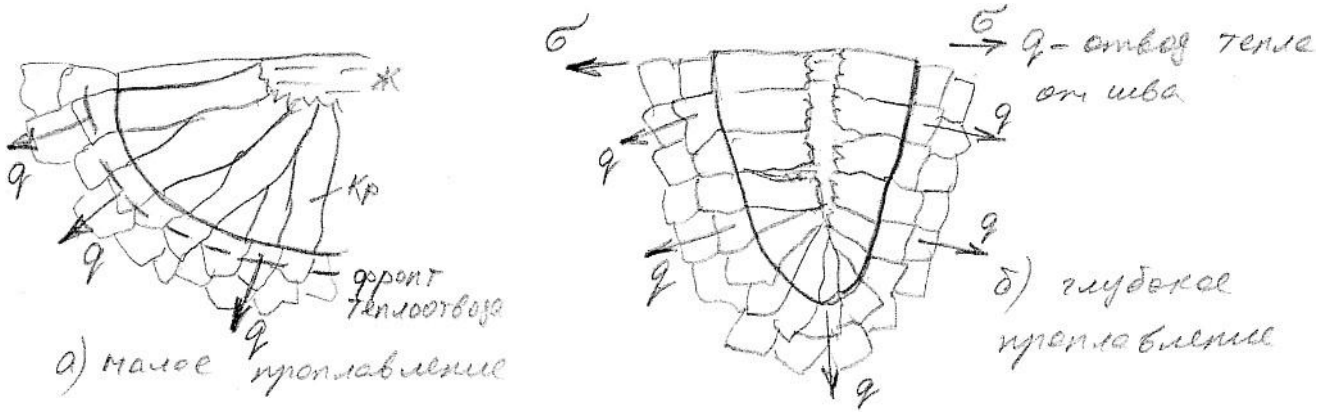
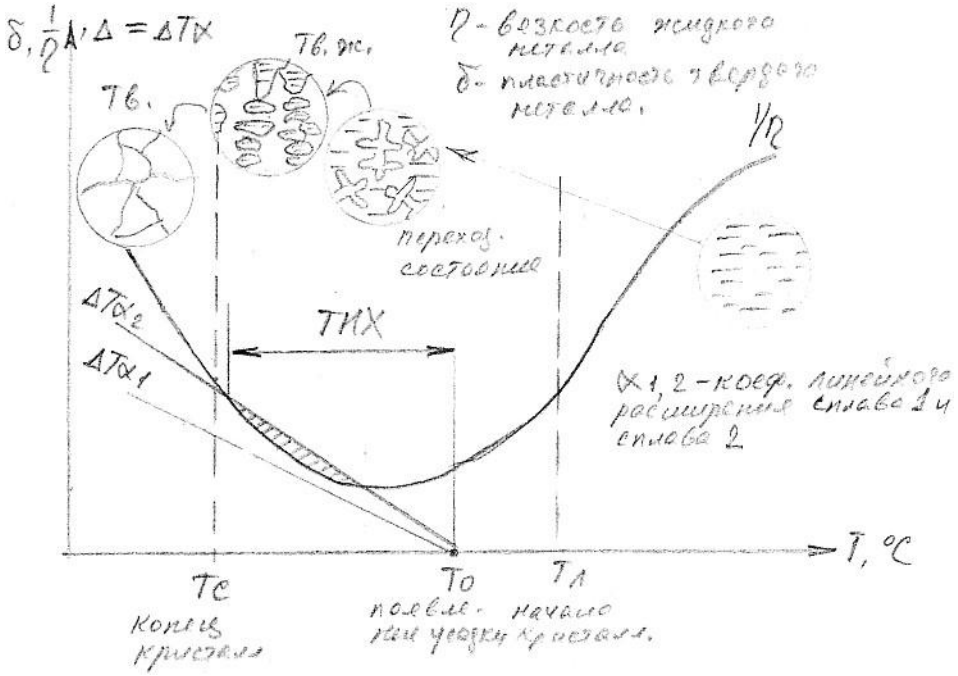


Рис.6.1-2 Кристаллиты шва и ликвация по сечению шва: а) с малой глубиной проплавления б) при глубоком проплавлении.

Концентрация легирующих элементов и примесей в определенных зонах сечения шва (прохода) приводит к тому, что в момент затвердевания остатков легкоплавкой части сплава сосредоточенных в определенной зоне сечения шва, по объему становится недостаточно для заполнения промежутков между раздвигающимися кристаллитами. Раздвижение кристаллитов вызывается сокращением линейных размеров, вызванных охлаждением.

Термомеханическая гипотеза объясняет появление горячих трещин тем, что в завершающей фазе кристаллизации, которую называют эффективным интервалом кристаллизации, металл проходит через твердо-жидкое состояние. При этом создается жесткий каркас из переплетающихся и срастающихся столбчатых кристаллов (дендритов, от слова дерево) с промежутками, заполненными затвердевающим, но еще не затвердевшим жидким металлом. Это состояние характеризуется повышенной крупностью. Пластические свойства будут восстановлены только после завершения кристаллизации.

Если в момент нахождения металла в твердо-жидком состоянии, будут происходить тепловые деформации укорочения по величине превышающие возможности пластичности металла, то произойдет разрушение с образованием горячей трещины. Температурный интервал хрупкости принято называть «ТИХ». Его можно определить, если известны значения пластичности металла в области температур кристаллизации, вязкость жидкого металла, температуры начала и конца кристаллизации коэффициент линейного расширения и температура начала сокращения размеров (усадки) См.рис. 6.1-3



Рассмотренные гипотезы позволяют сделать следующие выводы:

1. Склонность металла к горячим трещинам зависит от хим.состава. Количество легкоплавких примесей должно быть или ограничено или достаточно для заполнения разрывов между кристаллитами (для сращивания). При ограничении легкоплавкой составляющей по ее содержанию в сплаве можно добиться того, что при температуре To (начало усадки) металл будет иметь достаточно прочный кристаллитный каркас.

2. Время (температура) начала усадки должно быть как можно более поздним (низкой), т.е. по своему значению To – Tc.

3. Предпочтительной является не ориентированная кристаллизация, а дезориентированная, т.е. протекающая единовременно по всему сечению шва или создающая пластичный кристаллический каркас ориентированный по направлению действия «усадки»

Методы исключения горячих трещин

1. Выбор оптимальной схемы легирования. Это значит, что разработанный под условия эксплуатации сплав, по подобранному химическому составу отвечающий получению конкретных механических свойств, подлежит испытаниям на свариваемость известными методами или должен быть обеспечен специальной технологией сварки, если предусматривается из этого сплава изготавливать сварные конструкции. Вопрос склонности металла к горячим трещинам и средства их исключения должны решаться главным образом на стадии разработки сплава.

2. При выполнении сварки необходимо не допускать неблагоприятных условий кристаллизации сварного шва. К таким условиям является ограничение методов сварки с глубоким проплавлением.

3. Как правило, используемые для сварки присадочные проволоки, в своем составе содержат модификаторы: тугоплавкие компоненты (Ti, B или Zr). В процессе формирования шва они увеличивают число центров кристаллизации и тем самым дезориентируют процесс кристаллизации, предотвращая концентрацию легкоплавких остатков центральной части шва.

На практике к появлению горячих трещин может привести неправильный выбор присадочной проволоки или использование вместо стандартной присадочной проволоки ее заменителей (на сварочной проволоки без индекса Св…., «Лапши»). При применении сварочных материалов с сомнительной «родословной» необходимо обращать внимание на кратер прохода (валика).

Образование горячих трещин наиболее вероятно в кратере и в конце наплавленного валика.

6.2. Поры в сварных швах при сварке Al-сплавов.

В процессе сварки происходит взаимодействие нагретого твердого и жидкого металла с газовой фазой. Характер этого взаимодействия определяется химическим составом газовой фазы, химической активностью нагретого металла по отношению к элементам газовой фазы, химической

активностью нагретого металла по отношению к элементам газовой фазы и устойчивостью образовавшихся от этого взаимодействия новых веществ при изменяющейся температуре.

В табл. 6.2-1 приведены характеристики взаимодействия алюминия и легирующих компонентов алюминиевых сплавов по отношению к атомарным кислороду, водороду и азоту.

Табл. 6.2-1.

Табл. Ланкастера

Характер взаимодействия	растворимость	H	N	O
Химических соединений не образуется (эндотермическое растворение)	Газ растворяется в металле	Al, Mg, Mn	-	-
Образуется химическое соединение (экзотермическое растворение)	Соединение средне растворимо в металле	-	Mn+N = MnN	Mn+O = MnO
	Соединение не растворимо в металле	-	$2Al+3N = Al_2N_3$ Mg+N = MgN	$2Al+3O = Al_2O_3$ Mg+O = MgO

Следствия из табл. 6.2-1:

1. При взаимодействии с Al-сплавами водород не образует химических соединений, но способен растворяться в жидком и твердом металлах.
2. Реакции взаимодействия компонентов Al-сплава с кислородом и азотом пойдут избирательно: в первую очередь будет взаимодействовать Mg, как наиболее активный компонент. Взаимодействие этих газов с Al будет происходить тогда, когда не будет присутствовать в контакте с газами непрореагировавший Mg.
3. Соединения компонентов сплавов алюминия с N и O не приведут к образованию пор.
4. Реакциями Mn можно пренебречь, т.к. они возможны только в третью очередь и не приведут к образованию пор.
5. Причиной образования пор при сварке Al-сплавов является водород.

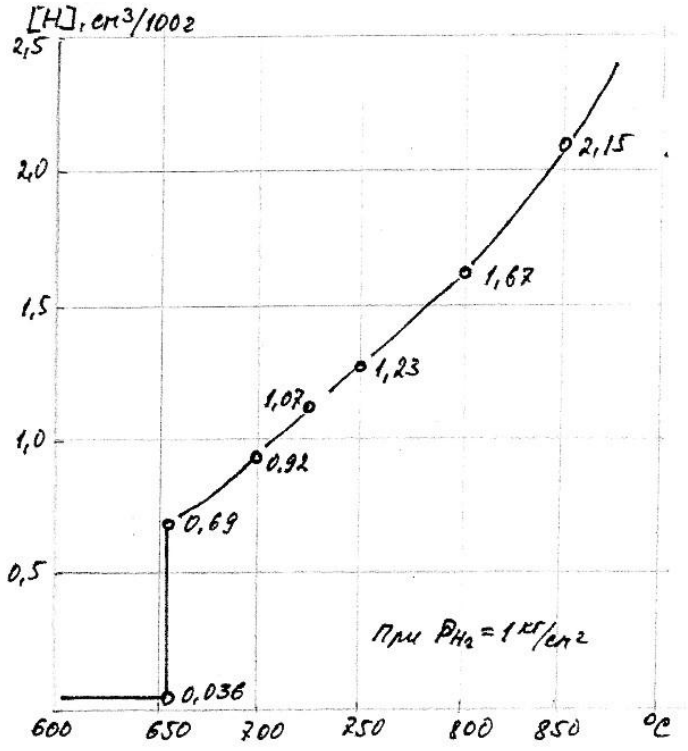


Рис. 6.2-1 Растворимость водорода в алюминии

На рис.6.2-1 представлена растворимость водорода в Al-сплавах. При температуре ванны жидкого металла 800° с 1 $см^3$ металла может растворится 0,044 $см^3$ водорода. В момент кристалл-лизации растворимость умень-шиться до 0,018 $см^3$ на 1 $см^3$ металла. Избыток, равный 0,026 $см^3$ будет выделяться в металле в виде газового пузырька. Если скорость кристаллизации достаточно высока этот пузырек не успеет всплыть и останется в металле в виде поры в размером R=1,8 мм, D=3,6 мм.

Источники водорода при сварке Al-сплавов.

В сухом воздухе на уровне моря практически отсутствует свободный водород, т.к. в Сиду своего малого удельного веса, образовавшийся водород будет удаляться от поверхности земли. Главным источником водорода при сварке является вода. Вода присутствует на поверхности основного металла и присадочной проволоки и покрывает ее как минимум одномолекулярным слоем. При нагреве в процессе сварки эта адсорбированная влага будет взаимодействовать с металлом:

$$2Al+3H_2O = Al_2O_3 + 6H$$

Чем более рыхлая поверхность металла и более толстая образовалась на ней пленка, тем больше будет выделяться водорода и тем вероятнее образование пор.

Водород может также поступить их паров воды, поступающих вместе в защитным газом. Опасность появления пор будет иметь место, если точка росы Ar будет выше минус 60°C.

Наличие жировых загрязнений также может являться источником водорода.

Источником водорода является также органика, поэтому для предупреждения пористости необходимо обеспечивать достаточную чистоту свариваемых кремок и присадочной проволоки.

При сварке отливок из Al-сплавов имело место образование пористости из-зп насыщения поверхностного слоя отливок метаном (CH_4) выделявшемся из формовочной массы и поступившим в поверхностный слой отливки.

6.3. Классификация дефектов сварных швов. Природа дефектов.

Дефекты, появляющиеся в сварных соединениях, различают по месту расположения (поверхностные и внутренние) и по причинам возникновения. В зависимости от причин возникновения их можно разделить на две группы. К первой группе относятся дефекты, связанные с металлургическими, термическими и гидродинамическими явлениями, происходящими в процессе формирования и кристаллизации сварочной ванны и охлаждения сварного соединения. Это кристаллизационные трещины, поры, вольфрамовые включения, зоны несплавлений, утяжины на односторонних соединениях, отклонения от необходимых прочностных и пластических свойств металла шва и сварного соединения, а так же неблагоприятные изменения свойств околошовной зоны.

Ко второй группе дефектов, которую называют дефектами формирования швов, относятся непровары, надрезы, наплывы, прожоги, кратеры, отступления от размеров и формы. Возникновение подобных дефектов обычно обусловлено технологическим процессом, нарушениями режима сварки, неисправностью оборудования, низкой квалификацией рабочих, плохой подготовкой и сборкой под сварку элементов конструкции, неточным расположением конца электрода по отношению к свариваемым кромкам, недоступностью места сварки и возникающим из-за этого неудобством выполнения сварочных манипуляций, а так же другими причинами, связанными с культурой производства.

Дефекты первой группы, такие как горячие трещины и поры, рассмотрены в п.6.1 и 6.2, поэтому в этом разделе ограничимся остальными дефектами этой группы.

Вольфрамовые включения являются частью вольфрамового электрода, попавшего в процессе сварки в металл шва. Как правило, они являются внутренними дефектами и выявляются радиографированием сварных соединений. Поверхностные вольфрамовые включения могут иметь место только в тех случаях, когда используется оборудование с системой зажигания дуги методом касания (закорачиванием сварочной цепи, без применения «дежурной дуги»). Такое оборудование при сварке Al-сплавов не применяется, а поэтому поверхностные W-включения не характерны для Al-сплавов.

Причиной внутренних W-включений может являться:

- Наличие локальных примесей в составе W-электрода. Это может вызвать образование паров легкоплавкой примеси в металле W-электрода и привести к разрушению конца электрода.
- Попадание на поверхность электрода, свариваемого металла(чаще всего в результате касания конца электрода присадкой). При этом на поверхности электрода образуется сплав вольфрама и свариваемого металла, имеющий значительно более низкую температуру плавления, чем вольфрамы. Этот сплав не может удержаться и стекает с электрода. Про-

цесс носит характер эрозионного разрушения. В процессе сварки так же имеет место конденсация паров алюминия на вольфрамовом электроде за пределами его оплавленного конца, где температура вольфрама ниже температуры кипения алюминия. При продолжительном использовании этого вольфрамного прутка без переточки, Al-конденсат перейдет в зону жидкого вольфрама и создаст условия для сбрасывания капли с конца вольфрамового электрода, которая в составе шва представляет собой W-включение.

Для предотвращения W-включений необходимо следить за состоянием W-электрода и производить периодически его заточку.

Несплавлением называют частный случай непровара. Он характерен отсутствием пустот в металле шва при наличии границы раздела между металлом наплавленным и основным металлом или между металлом последующего слоя (см. рис. 6.3.-1). Для Al-сплавов характерно наличие окислой пленки препятствующей созданию единой ванны жидкого металла, объединяющей расплавленные основной и присадочный металлы.

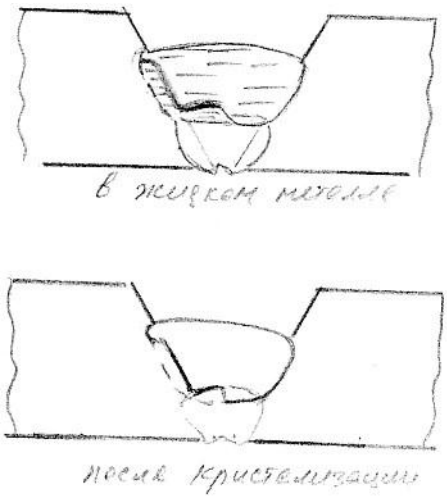


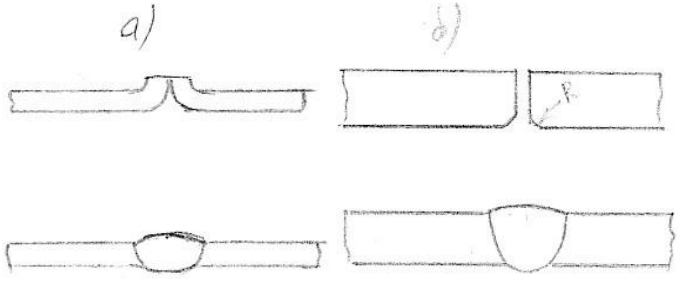
Рис. 6.3-1.

Разрушение окислой пленки дугой обеспечивается только с поверхности. На практике возможны случаи, когда гидродинамического действия жидкого металла бывает недостаточно для ликвидации окислой пленки в глубине формируемого шва, даже при полном его проплавлении. Этим объясняется наличие границы раздела со стороны корня шва (Рис. 6.3-2)

Для борьбы с этим видом несплавления используется достаточного эффективный, но малоизвестный способ-закругление перед сборкой (или сваркой) острых кромок со стороны корня шва.

Рис. 6.3-2. Форма обратного валика при сквозном проплавлении.

При такой подготовке удается получить обратный валик без следов несплавления (рис.6.3-3)



В любых случаях создание минимальной толщины окислой пленки является залогом уменьшения вероятности непроваров, в том числе типа несплавлений.

Утяжины – это дефект одностороннего шва, характеризующийся местным уменьшением сечения. Он имеет место при сварке стыков труб и выявляется радиографированием.

Рис.6.3-3 Обратный валик
а) при сварке соединений с отбортовкой кромок
б) при сварке соединений со скругленными кромками

Окисная пленка имеет большую, чем металл плотность и не всплывает на поверхность. Засорение шва окисной пленкой может явиться причиной снижения механических свойств металла шва. Термическое воздействие сварки на Al-сплавах классов W22 и W23 вызывает только снятие наклепа. Это приводит к уменьшению прочности сварного соединения, но не является дефектным

признаком, т.к. все расчеты на прочность производятся исходя из прочности Al-сплава в отожженном состоянии.
Причины дефектов второй группы очевидны и не требуют дополнительных разъяснений.

6.4. Влияние дефектов на работоспособность сварных конструкций из алюминиевых сплавов.

Наличие тех или иных дефектов в сварных соединениях еще не определяет потерю работоспособности этих соединений. Опасность дефектов, наряду с влиянием собственных характеристик несплошностей (размер, тип, форма и т.п.), зависит от большого числа дефектов. См. табл. 6.7-1

Табл. 6.7-1

Фактор	Его характер или особенности
Свойства материала	Пластичность или хрупкость. Склонность к трещинообразованию. Склонность к релаксации напряжений «Торможение трещины и т.п.»
Конструкция соединения	Стыковые или угловые швы. Масштабный фактор и т.п.
Схема нагружения	Рабочие или не рабочие швы. Одноосное, двухосное или объемное напряженное состояние. Остаточные напряжения и т.п.
Концентраторы напряжения	Конструктивные (вырезы, разностенность и т.п.) Технологические (перекосы, несовпадение кромок, чешуйчатость и т.п.)
Вид нагрузки	Статика, динамика, вибрация, малоциклевая нагрузка и т.п.
Агрессивность среды	Нейтральная, слабо или сильноагрессивная
Температурные воздействия	Высокие или низкие температуры. Циклические режимы.
Вероятность и опасность отказа	Характер перегрузок. Опасность аварийной ситуации и тяжесть последствий отказа.

Многочисленными исследованиями установлено, что при статической нагрузке и пластичном материале влияние величины непровара на потерю прочности примерно пропорционально относительной глубине этого непровара или его площади. (см. рис.6.4-1)

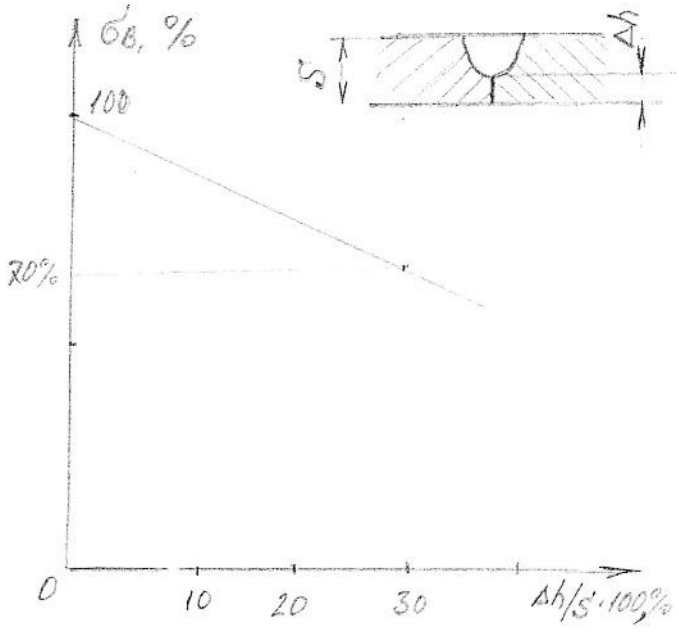


Рис. 6.4-1 Влияние непровара на статическую прочность стыкового соединения (без усиления) Al-сплавов (мягких)

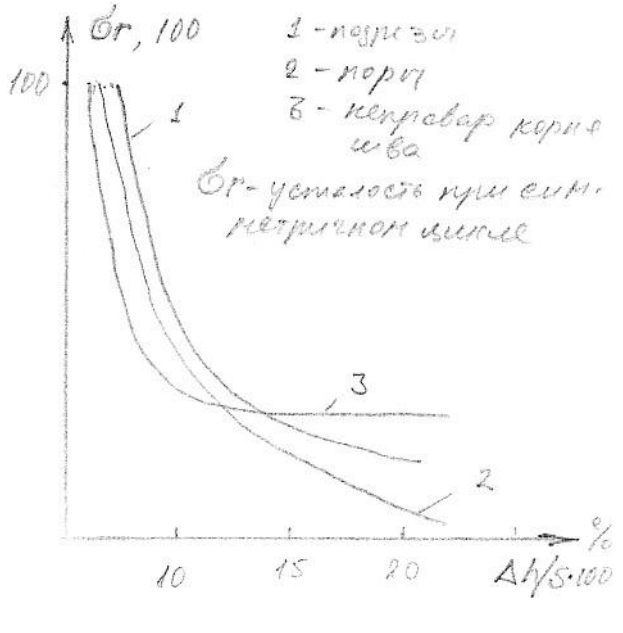


Рис.6.4-2 Влияние дефектов на усталостную прочность стыковых соединений из Al-сплавов.

При динамической и вибрационной нагрузках линейная пропорциональность между потерей работоспособности и величиной дефекта нарушается и сравнительно небольшие дефекты уже существенно влияют на прочность.

Обобщение исследований позволяет считать, что дефекты типа включений (поры) при их относительной суммарной площади в сечении до 5% практически мало влияют на статическую прочность соединений. По отдельным видам соединений безопасная величина ослабления сечения спичкового соединения дефектом при статическом нагружении может достигать 10 и даже 20%. Особенно это относится к малонагруженным швам. Однако при наличии остаточных напряжений дефекты-включения могут быть опасными при усталостных нагрузках..

Для оценки опасности дефектов их подразделяют при дефектоскопии на две группы: объемные (тупые) и трещиноподобные (острые). Объемные дефекты сравнительно безопасны в отношении копери работоспособности соединений. Трещинообразные (трещины, непровары и включения с надрезом) весьма опасны и, как правило, недопустимы.

На основе разумного сочетания двух противоположностей: дефектности и работоспособности сварных соединений строятся критерии оценки качества сварных швов с использованием неразрушающего контроля. Эти критерии, в сочетании с экономически обоснованными и технически достаточными объемами контроля окончательно-выполненных швов, являются нормативными требованиями, выполнение которых гарантирует работоспособность сварной конструкции.

7. Методы контроля сварных соединений

Качество продукции по ГОСТ 15467 – есть совокупность свойств продукции, определяющих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Эта совокупность свойств определяется показателями качества, установленными при создании продукции проверяемыми при контроле готовой продукции. Показатели качества сварных соединений определяют путем их контроля. На рис. 7-1 приведена структурная схема качества соединения.

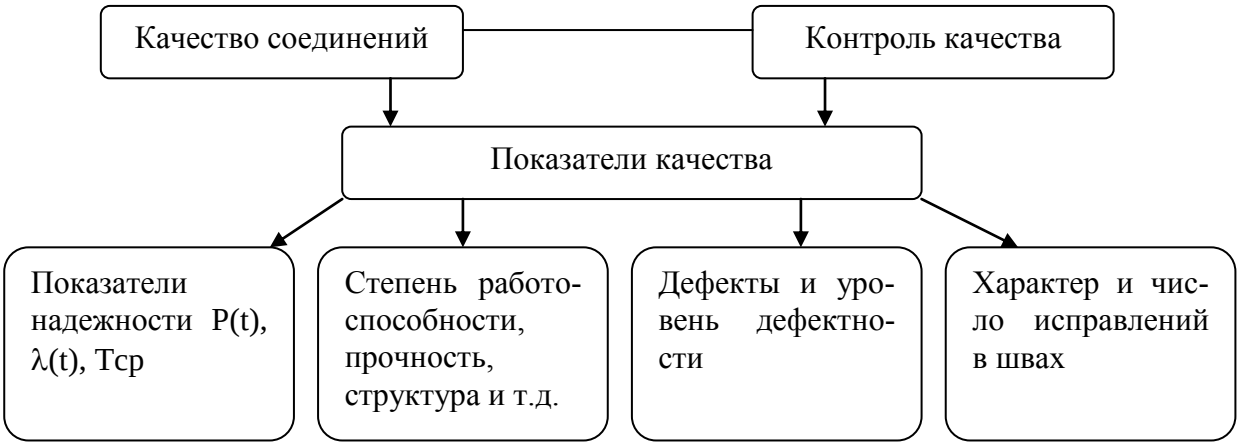


Рис. 7-1. Показатели качества сварных соединений.

Контроль качества – проверка соответствия показателей качества установленным требованиям. Признанное Регистром предприятия должно обеспечивать не только контроль произведенной продукции, но также должно иметь систему управления качеством продукции. Для управления качеством продукции необходимо знать и задавать принципиальные условия, критерии, требования факторам, от которых зависит качество. Для сварных соединения эти факторы представлены на рис. 7-2. В правой части перечня факторов приведены источники критериев, которым эти факторы должны соответствовать для обеспечения требуемого качества конечной продукции. Для этого система управления качеством должна организовывать контроль за соответствием, определяющих качество факторов установленным требованиям на всех этапах жизненного цикла продукции: проектирование, полуфабрикаты, технологические процессы, заготовка, сборка, сварка и готовая продукция.

Факторы, влияющие на качество сварных соединений			
Технологические		Конструктивные	
Факторы	Требования Правил	Факторы	Требования Правил
Сварочные материалы	Допуск Регистра	Основной металл	Допуск Регистра

Оборудование	Одобрение технологий: WPS (СПС) с подписью Регистра	Конструкция соединения	Одобрение таблиц сварки
Подготовка и сборка		Система контроля	Свидетельство о признании предприятия-строителя
Процесс сварки		Методы контроля, объемы контроля	Одобрение схем контроля
Оператор	Допуск сварщика	Нормы по качеству	Одобренные Регистром стандарты
		Условия эксплуатации	Класс судна по регистру

Рис. 7-2. Факторы качества сварных соединений и средства воздействия на их уровень через надзорный орган (Регистр).

Организация контроля сварных соединений корпусных конструкций из Al-сплавов регламентирована «Правилами контроля» ОСТ5.9413-83, согласованными Регистром. Структура контроля приведена на схеме рис. 7-3.

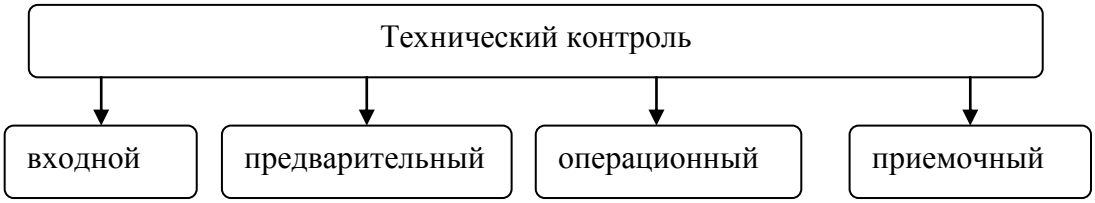


Рис. 7-3 Схема контроля сварных соединений корпусных конструкций.

Порядок контроля устанавливаемый «Правилами контроля» дан в таблице 7-1.

Таблица 7-1

Вид контроля	Объект контроля	Время контроля	Критерии оценки и результат контроля
Входной	Основной металл	До запуска в производство и в процессе хранения	Наличие одобрений Регистра, соответствия сертификатов НТД, условия хранения, правила выдачи и использования, запуск в производство
	Присадочные металлы		
	Аргон		
Предварительный	Квалификация сварщиков	До начала сварки и контроля	Наличие свидетельства о допуске Регистра
	Квалификация дефектоскопистов		Санкционирование начала работ
	Сварочное оборудование и инструмент, оснастка	Периодически, но не реже 1 раза в квартал и после каждого ремонта	Метрологическая проверка приборов, комплектность (контролирует мастер по сварке), обеспечение заданных режимов. Санкционирование сварки
Операционный	Качество сборки под сварку	До начала сварки, по окончании сборки	Чертеж, техпроцесс, стандарты. Приемка под сварку.:
	Контроль технологии сварки и качества выполнения сварных соединений	В процессе сварки и перед её началом	Чертеж, техпроцесс, стандарты. Соответствие: условиям работ, типа оборудования, режимам, техпроцессам, чертежу, контроль по СПС. Санкционирование выполнения и продолжения сварки.

Приемочный	Законченные сварочные соединения: поверхность швов и прилегающая поверхность основного металла	После окончания сварки, до окраски	Визуальный и измерительный контроль: отсутствие недопустимых поверхностных дефектов, соответствие размеров и внешнего вида швов НТД
	Внутренне состояние шва		Неразрушающий контроль: отсутствие недопустимых внутренних дефектов
	Швы не имеющие недопустимых дефектов принимаются. Швы имеющие недопустимые дефекты исправляются с повторением всех видов контроля.		

7.1 Визуальный контроль.

Визуальный контроль или контроль внешним осмотром производится совместно с измерениями сварного шва.

Этому виду контроля подвергаются все сварные соединения по всей длине с каждой стороны соединения, которая доступна для осмотра.

Визуальный контроль производится до выполнения всех других видов контроля.

Перед выполнением контроля швы и прилагающие к ним поверхности основного металла на ширине не менее 20 мм должны быть зачищены от брызг, копоти и других загрязнений. Осмотру подлежит также поверхность основного металла с каждой стороны шва.

При контроле должно быть установлено :

- отсутствие недопустимых наружных дефектов на поверхности шва и прилегающей к нему зоне основного металла шириной не менее 20 мм.
- соответствие (или несоответствие) размеров шва требованиям соответствующего стандарта. Для большинства Al- сплавов размеры швов устанавливаются ГОСТ 14806.

Недопустимыми дефектами являются :

- трещины в шве и около шовной зоне;
- прожоги;
- свищи (сквозной или односторонний дефект округлой формы, глубина которого более диаметра);
- незаваренные кратеры;
- наплывы;
- протеки металла;
- следы коротких замыканий электрода и брызги расплавленного металла на поверхности шва и около шовной зоны;
- подрезы и вырывы основного металла в местах удаления временных креплений;
- шероховатость поверхности в местах зачистки должна быть не выше $R_z = 40$;
- дефекты размеры и количество, которых превышает указанные в таблице 7.1-1.

Допустимые поверхностные дефекты. **Табл. 7.1-1.**

Дефекты	Категория сварного соединения	Толщина свариваемых элементов, мм	Размер дефекта, мм	Ко-во дефектов, их суммарная протяженность
Подрезы	1	Все толщины	Не допускаются	
	П, Ш, 1У		0,1 от мин.толщины, но не более 0,5 мм	Не более 10% от длины технологич.самостоят. соединения
Западание между вали-	1	Все толщины	0,1 мм минимальной толщи-	

ками, бугристость, чешуйчатость (на базе 12 мм или между вершинами			ны, но не более 1,0 мм	Не регламентируется
	П, Ш, 1У	До 10 включительно	Не более 1,3	
	П, Ш, 1У	Свыше 10 до 20 включительно	Не более 1,5	
	П, Ш, 1У	Свыше 20	Не более 2,0	
Поры, вольфрановые включения	1	Все толщины	От 0,1 мм минимальной толщины, но не более 2,0	1 шт. на каждые 100 мм шва
	П, Ш, 1У	До 10 включительно	Не более 2,0	3 шт.на каждые 100 мм шва
	П, Ш, 1У	Свыше 10 до 20 включительно	Не более 3,0	

7.2.Радиографический контроль

Совокупность методов неразрушающего контроля, использующих проникающее излучение называют радиационной дефектоскопией.

Эти методы подразделяют по двум признакам:

- по природе излучения
- по принципу регистрации дефектов.

Радиографический контроль входит в плеяду методов относимых к радиационной дефектоскопии. На рис.7.2-1 приведена схема классификации методов неразрушающего контроля с использованием проникающего излучения.

Радиационная дефектоскопия
(контроль просвечиванием)

названия		методов контроля	
Природа лучей	Наименование метода контроля	Принцип регистрации дефектов	Наименование метода контроля
R-лучи	Радиационный контроль	Светочувствительные материалы	Радиография
γ - лучи	γ - контроль	телеизображение или видеозапись	Радиоскопия
Тормозное излучение	бетатронный контроль	Измерение интенсивности проникающего излучения	Радиометрия

Рис.7.2-1 Схема классификации методов радиационной дефектоскопии.

Радиографический контроль может выполняться при применении любого из указанных в схеме типов проникающего излучения.

Проникающим или как его еще называют ионизирующим излучением являются электромагнитные волны. На рис.7.2.-2 представлен известный современной науке спектр электромагнитных волн. Как видно из рисунка наиболее мягким проникающим излучением являются рентгеновские лучи, имеющие длину волны менее 10^{-6}см и частоту более 10^{17}гц = 10^{14}кгц (Мягким излучением называют то из сопоставляемых излучений, которое имеет более низкую частоту или большую длину волны).Проникающая способность излучения определяется его частотой по уравнению Планка: $E = \hbar\nu$, где $\hbar$ – постоянная Планка. Из этого уравнения следует, что проникающая способность будет тем выше, чем больше частота лучей.

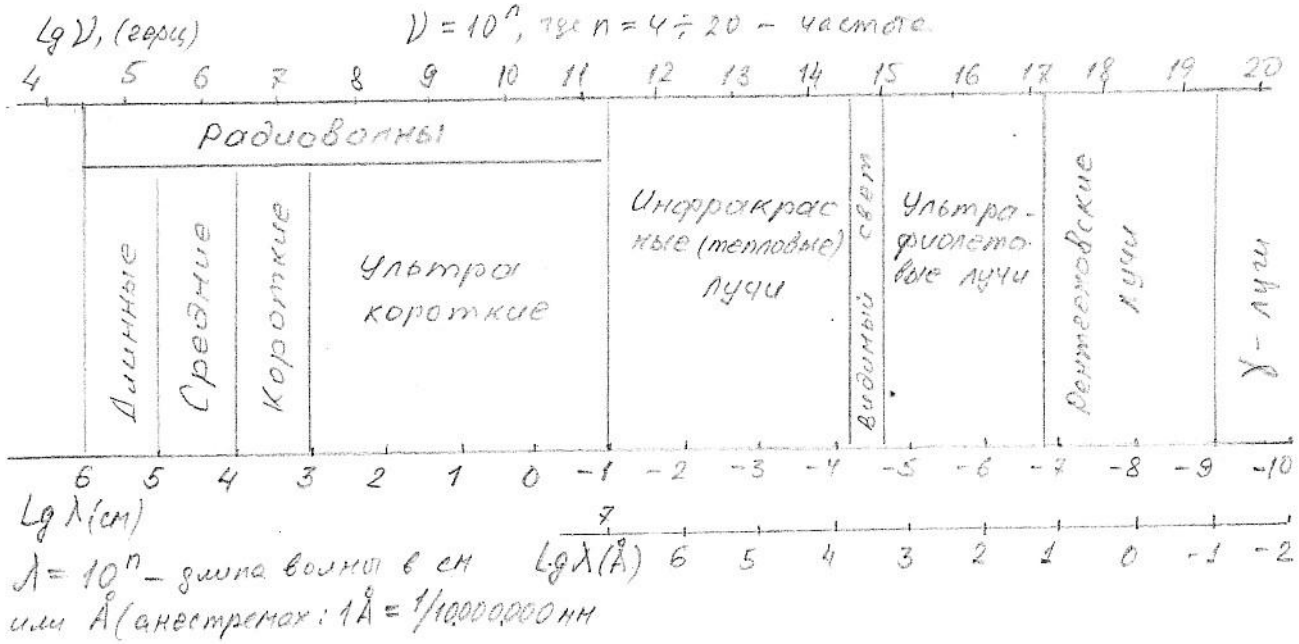


Рис.7.2-2 Спектр электромагнитных волн

В радиографии конструкций из легких сплавов нет необходимости использовать тормозное излучение, т.к. диапазон толщин применяемых промышленностью изделий из Al-сплавов, как правило, не превышает 100 мм, а так же прозрачность алюминия проникающему излучению почти в 3 раза выше чем у стали (Рж/Рал). Поэтому для радиографического контроля сварных соединений из Al-сплавов применяют R-лучи или γ-лучи.

Источником R-лучей является рентгеновская трубка. Принцип ее действия основан на способности атомов излучать квант-фотоны под действием бомбардировки их электронами, имеющими высокую кинетическую энергию. Отдавая энергию атому, электроны обеспечивают испускание атомом квант-фотона с адекватным уровнем энергии. Для просвечивания соединений из Al-сплавов S≤20мм используют рентгеновские аппараты с напряжением до 60кВ.

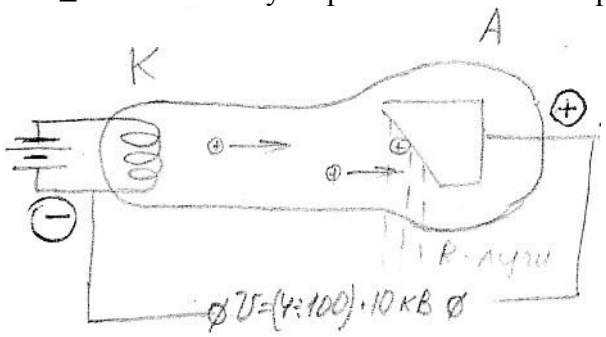


Рис.7.2-3 Схема трубки Рентгена

В качестве источников γ- излучения применяют радиоактивные изотопы: ^{60}Co, ^{132}Cs, ^{192}Jr и ^{170}Tm (кобальт, цезий, иридий и тулий). Для просвечивания соединений из Al-сплавов толщиной от 3 до 70 мм наиболее приемлем ^{170}Tm.

Процесс естественного распада радиоактивных изотопов сопровождается образованием частиц (продуктов распада) и выделением энергии. Если источник излучения поместить в электрическое поле, то продукты излучения, под воздействием поля будут распределяться, как показано на рис.7.2-4 Энергия в виде электромагнитных волн (квант-фотонов) получила название γ-лучей. Они имеют высокую частоту, а следовательно (по уравнению Планка) обладают хорошей проникающей способностью. Этот эффект и используется при радиографическом контроле.

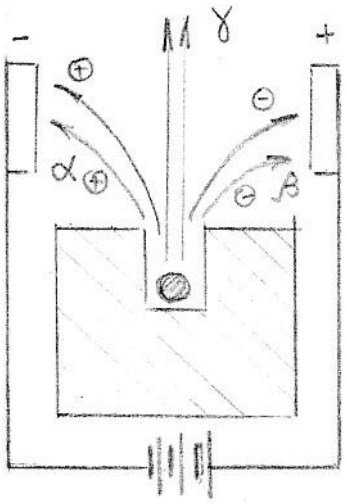


Рис.7.2-4 Действие электрического поля на продукты ядерного распада
α – частицы – осколки ядер He; β – электроны; γ – Эл.магнитные лучи

На рис.7.2-5 проведена схема радиографического контроля сварного соединения. Проникающее излучение попадающее на светочувствительную пленку (рентгеновская пленка) засвечивает ее.

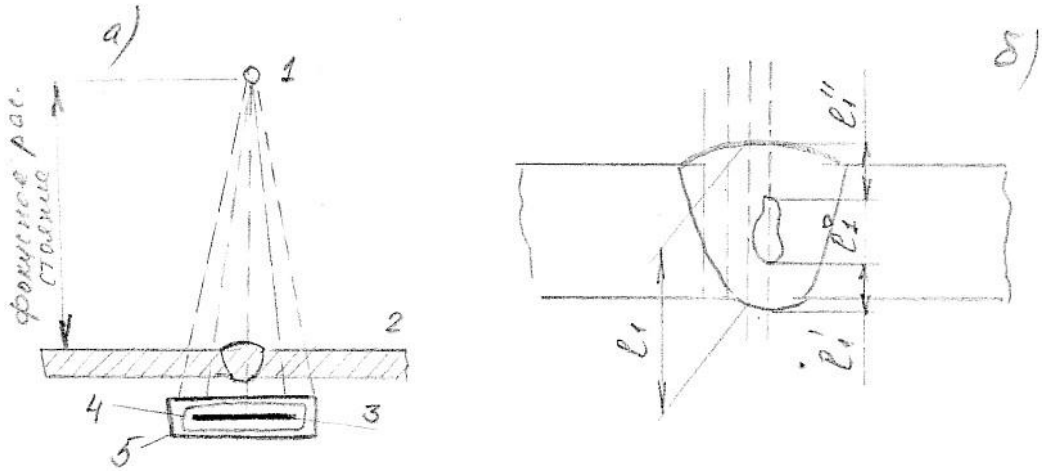


Рис.7.2-5 Схема R-контроля: а) взаимное положение источника излучения (1), изделия (2) и рентгеновской пленки (3), находящейся в светонепроницаемой кассете (5) с экраном (4)
б) путь луча в изделии.

Степень засвеченности пленки зависит от толщины и плотности металла контролируемого изделия. В местах не сплошностей пленка будет засвечена сильнее.Это позволяет получить изображение внутреннего строения шва и выявить несплошности (непровары, трещины, поры) утонения (утяжины) и включение с большей плотностью, чем основной металл.

Радиографический контроль производится после приемки швов внешним осмотром и измерением.

Объем контроля устанавливается проектантом и указывается в ведомости или схеме контроля. Сварные швы подлежащие R-контролю размечаются. При разметке на шве наносятся границы участков (снимков) и указываются их номера.

По заявке ОТК лаборатория R-контроля выполняет просвечивание, обработку снимков и производит оценку результатов контроля. К оценке допускаются только качественные снимки (не имеющие дефектов по стандарту на R-контроль, включая отсутствие ложных дефектов). Критерии оценки сварных соединений конструкций, подлежащих техническому надзору Регистра, устанавливаются Правилами Регистра.

Для Al – сплавов Регистром установлена трехбалльная система оценки качества:

Балл Ш Al

В швах отсутствуют внутренние дефекты или имеются:

1. отдельные поры d_{max} (0,1t + 0,55)мм, но не более 2.5мм. Максимальная суммарная площадь пор на любых 100мм контролируемого участка шва должна быть не более 2t, мм^2

2. отдельные окисные включения с максимальной длиной до 0,2t мм, но не более 5мм или вольфрамовые включения максимальной длиной до 0,05t, мм, но не более 0,8 мм. Количество включений должно быть не более одного на 100 мм контролируемого участка.

Балл П Al

В сварных швах отсутствуют трещины, свищи, непровары, несплавления между слоями. Максимально допустимые размеры пор, окисных и вольфрамовых включений, а также суммарная протяженность их скоплений или цепочек для любых 100 мм контролируемого участка шва приведена в табл.7.2-1

Таблица 7.2-1

Толщина основного металла, мм	Отдельные поры и включения				Максимальный размер скопления, мм		Максимальная длина цепочки, мм		Суммарная длина дефектов, мм	
	Ширина (диаметр), мм		Длина, мм							
	для балла									
	П Al	1 Al	П Al	1 Al	П Al	1 Al	П Al	1 Al	П Al	1 Al
до 5 мм	0,6	0,8	2,0	2,5	2,5	4,0	4,0	5,0	6,0	8,0
5-10	1,0	1,2	3,0	3,5	4,0	6,0	5,0	10,0	10,0	12,0
10-20	1,5	2,0	5,0	6,0	6,0	10,0	9,0	15,0	15,0	20,0
20-25	2,0	2,5	6,0	8,0	8,0	12,0	12,0	20,0	20,0	25,0

Балл 1 Al

В швах сварных соединений отсутствуют трещины, непровары; остальные дефекты по величине и количеству не превышают норм, установленных в табл.7.2-1 для балла 1. Участки швов имеющие дефекты превышающие указанные для баллов 1-Ш не получают оценки и считаются браком.

Проходной балл назначается по согласованию с Регистром. Для корпусных конструкций проходным баллом может являться: для ответственных и высоконагруженных соединений – балл Ш Al, для ответственных менее нагруженных балл П Al и в ряде случаев балл 1 Al.

Для допуска сварщиков по результатам R-контроля получившие проходной балл считаются годными.

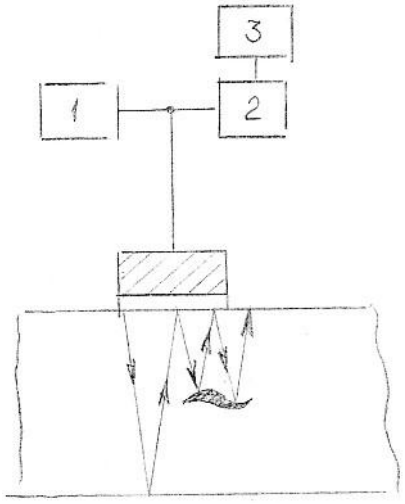
7.3. Ультразвукой контроль.

Этот метод контроля применяется для выявления внутренних дефектов и, как правило, является альтернативой R-контролю. Ультразвуковой контроль (УЗК) или ультразвуковая дефектоскопия (УЗД) являются более привлекательными для промышленности, потому что при их использовании не требуется расходных материалов и отсутствуют ограничения в применении вызываемые опасным воздействием R или Y-лучей на человека.

УЗК основан на законах распространения и отражения ультразвуковых волн в других средах. Для звуковых волн все металлы являются упругой средой. В этой среде звуковые волны распространяются с высокой скоростью. В Al-сплавах продольные волны распространяются со скоростью 6260 м/сек, в сталях-5850 м/сек, в титане-6000 м/сек, а в воздухе-335 м/сек.

Ультразвуковые волны в металле подчиняются законам геометрической оптики: угол падения равен углу отражения, преломление зависит от плотности сред. Это обстоятельство сделало возможным применение для дефектоскопии металлов эхо-метода. На рис. 7.3-1 приведена схема ультразвукового контроля эхо-методом.

Для возбуждения ультразвуковых колебаний от генератора 1, вырабатывающего пульсирующий ток ультразвуковой частоты, подается напряжение на пьезокристалл (титанат бария). Под действием электрического поля этот кристалл изменяет свои размеры синхронно с изменением



напряженности поля, создавая механические колебания той же частоты, с которой меняется подводимое к нему напряжение. В УЗД используют частоты более 500 кгц (килогерц)

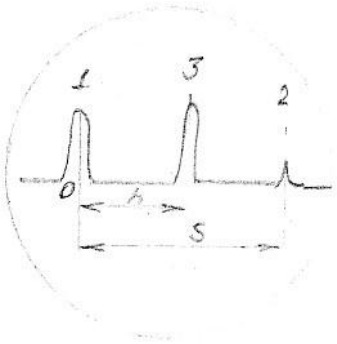
Рис. 7.3-1 УЗК эхо-методы

1. блок генератора 2. блок усилителя 3.блок индикатора

Такие колебания ультразвуковыми (за звуковыми), т.к. частота звуковых колебаний (воспринимаемых) ухом человека составляет 16÷20 000 гц.

Ультразвуковые волны отражаются от препятствий по законам геометрической оптики и при известных исходных условиях могут быть зарегистрированы тем же прибором, что и излучающий прибор.

Ультразвуковые волны вводятся в объект контроля импульсами, продолжительностью 0,5-8 микросекунд с перерывами 1-5 микросекунд. Если волна на своем пути встречает препятствие (границу раздела фаз), то она отражается и в период паузы, может быть воспринята излучателем-приемником. На регистраторах типа осциллограф на экране возникает изображение отраженного импульса.



S-толщина
h-глубина залегания дефектов

Рис. 7.3.-2 изображение импульсов на экране осциллографа: 1-вводимый,
2-отраженный от противолежащей поверхности
3-эхо-сигнал от дефекта

По положению эхо-импульса определяют глубину залегания дефекта, по положению импульса 2 определяют толщину изделия.

Для оценки качества сварки создается эталон дефектов. За критерии принимаются размеры дефектов. Чувствительность «искателя» настраивается по этому эталону из условия: проходные дефекты – не регистрируются!

УЗК устанавливает положение дефекта по длине и глубине. Характер дефекта УЗК не определяет:

Недостатки УЗК:

1. Наличие мертвой зоны. После излучения импульса пьезоэлемент продолжает колебаться некоторое время по инерции. Длительность этого колебания для близкорасположенных к излучателю-приемнику дефектов превышает время движения УЗ-импульса от излучителя до дефекта и обратно: $t = 2h*10^{-3}/c$, где $c = 6260$ м/сек.

Это обстоятельство ограничивает толщину контролируемых сварных соединений. Контролю подвергают конструкции при толщине 4 мм и более

2. УЗК не раскрывает природу дефекта.

3. По результатам УЗК нет объективного документа, как при R-контроле. Контроль выполняется оператором с фиксацией результатов непосредственно на конструкции (указывается положение дефекта и глубина его залегания). Документом является запись в журнале с указанием № участка, глубины залегания и протяженности дефекта.

УЗК выгодно применять на больших толщинах. Современные достижения в этой области позволяют получить наглядное изображение дефекта и создать средства для документирования результатов.

7.5 Критерии оценки.

Критерии оценки – синоним показателей качества. Они устанавливают интервалы значений свойств сварных соединений соответствующие сохранению эксплутационной надежности. В некоторых случаях критерии устанавливаются не интервалами, а предельными значениями.

Для конструкции из Al-сплавов, изготавливающихся под техническим надзором Регистра, критерии оценки качества сварных соединений задаются Правилами Регистра.

Большинство из этих критериев нами рассмотрены в разделах 7.1-7.4:

7.5.1 Критерии оценки результатов визуального контроля приведены в разделе 7.1 и представлены:

- Перечнем недопустимых дефектов,
- Таблицей (7.1-1) допустимых дефектов.

7.5.2 Критериями результатов измерений является стандарт на типы и конструктивные элементы ГОСТ 14806, который устанавливает размеры швов и их предельные отклонения.

7.5.3 Критерием оценки результатов R-контроля является проходной балл, просвеченного участка. Критерии для присвоения балла даны в разделе 7.2.

7.5.4 Для УЗК критериями оценки являются предельные размеры допустимых дефектов, установленные для проходного балла участка, контролируемого просвечиванием.

7.5.5 Rm для сварного соединения принимается по нижнему пределу значения Rm для основного металла в отложенном состоянии.

7.5.6 Значение угла изгиба при статическом изгибе образца со снятыми усилениями на оправке диаметром, равным четырем толщинам, должно быть не менее 120°. Изгиб продолжается до появления первой трещины длиной равной 4 мм. Трещины длиной менее 4-х мм во внимание не принимаются.

7.5.7 Rm, P_{po2}, A5 и Z для наплавленного металла устанавливаются по результатам специального рассмотрения этого вопроса Регистром.

8. Испытания на допуск.

8.1. Требования к сварщикам, выполняющим сварку конструкций, изготавливающихся под техническим надзором Регистра.

1) «Каждый сварщик должен обладать необходимыми навыками, обеспечивающими равномерность подачи тепла и присадочного материала на место сварки в ограниченном пространстве. Он должен внимательно следить за часто трудноразличными процессами, которые быстро протекают в сварочной или шлаковой ванне и своевременно оказывать на них воздействие с помощью особочувствительных движений. При этом, несмотря на тяжелые условия труда, он должен уметь противостоять быстропоявляющейся усталости. Кроме того, он должен обладать специальными знаниями, необходимыми для квалифицированного выполнения сварочных работ и соблюдать правила техники безопасности. Выработанные сварщиком профессиональные навыки сохраняются лишь в том случае, если он постоянно и в достаточной степени занят непосредственно сварочными работами. По этой причине за работой сварщиков на производстве должен осуществляться постоянный контроль со стороны персонала предприятия, которому поручены эти функции» (Стандарт ФРГ).

2) «Качество сварочных работ в значительной степени зависит от умения сварщика; от его способности следовать устным или письменным инструкциям, а испытания его умения являются важным условием обеспечения качества сварки». Эти цитаты взяты из национального и общеевропейского стандартов и весьма точно отражают роль сварщика в обеспечении качества

сварных конструкций. Исходя из этого действующие Правила регистра устанавливают следующие требования к сварщикам, привлекаемым к сварке поднадзорных Регистру конструкций» (Евростандарт EN 287-2-92, разработан CEN (Европейский комитет по стандартизации)):

8.1.1. Сварку конструкций, изготавливающихся под техническим надзором Регистра, должны выполнять сварщики, получившие по результатам теоретических и практических испытаний Свидетельство о допуске.

Свидетельство о допуске является документом, подтверждающим, что, в границах оговоренных Свидетельством областей одобрения, сварщик способен обеспечить уровень качества, соответствующий требованиям правил Регистра.

8.1.2. К испытаниям допускаются сварщики не моложе 18 лет и имеющие опыт практической работы не менее 1 года.

8.1.3. Границы компетенции сварщика указываются в Свидетельстве о допуске и должны соблюдаться при практической деятельности. Они регламентируются Регистром исходя из сложности практических испытаний. При этом принимается во внимание:

- процесс сварки;
- способ сварки;
- тип сварочного соединения и его технологические особенности;
- класс основного металла;
- тип присадочного металла или сочетание сварочных материалов;
- толщина или размер углового шва;
- положение сварки при выполнении проб.

При практических испытаниях производится сварка одной или нескольких проб имеющих конкретный тип, толщину, марку основного металла. Сварка выполняется вручную, полуавтоматом или автоматом, с использованием конкретных сочетаний сварочных материалов в одном или нескольких пространственных положениях. Производственная деятельность сварщика требует использования основного металла, положений сварки, типов соединений, сварочных материалов, отличных от примененных при практических испытаниях. Область одобрения устанавливает допустимые границы отличий производственных условий от испытательных. Правила требуют, чтобы производственная деятельность сварщика осуществлялась в границах его компетенции, установленной областью одобрения. Для сварщиков, выполняющих сварку Al-сплавов требуется, чтобы в производственных условиях он выполнял работы с помощью того процесса и тем способом сварки, которыми проводились практические испытания; марки свариваемых сплавов должны быть того класса, на которые распространяется область одобрения допуска сварщика (табл. 8.1.3-1)

Табл. 8.1.3-1

Класс металла пробы	Классы металлов в условиях производства		
	W21	W22	W23
W21	Металл пробы	-	-
W22	Металл, на который распространяется одобрение допуска	Металл пробы	-
W23	Металл, на который распространяется одобрение допуска	Металл, на к-ый распространяется одобрение допуска	Металл пробы

W21 – сплав низкой прочности;

W22 – сплав средней прочности;

W23 – сплав высокой прочности.

Толщина листов, которые имеет право сваривать сварщик, сдавший испытания на пробе толщиной t, мм устанавливается таблицей 8.1.3-2

Табл. 8.1.3-2

Толщина металла пробы, мм	Толщина в условиях производства, мм
t < 6	От 0,7 до 2,5 t
6 < t < 15	6 < t < 40

Величина катета углового шва, если сварщик допущен только к сварке угловых швов, определяется областью одобрения допуска сварщика по расчетной толщине шва. Расчетной толщиной углового шва считается высота вписанного в поперечное сечение шва треугольника (см. рис. 8.1.3-1). Область одобрения, т.е. размеры катета, которые может выполнять сварщик устанавливаются в зависимости от области одобрения «а».

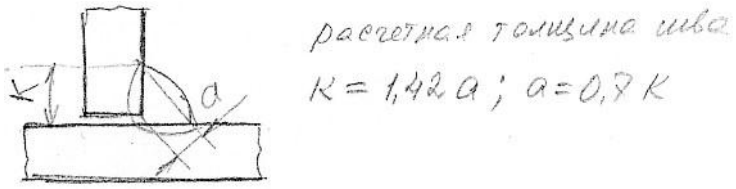


Рис. 8.1.3-1

Если при сварке пробы величина а < 10мм, то прошедший испытания сварщик получает право выполнять угловые швы при $a_{пр}$ = от 0,75 а до1,5 а; если на пробе а > 10мм, то $a_{пр}$ = (10÷1,5 а) мм.

Сварщик, выполнивший практические испытания на стыковой пробе, как правило, получает допуск к сварке стыковых и угловых соединений. Когда в составе конструкции преобладают угловые швы, Регистр может потребовать сварку только тавровой пробы или провести испытания на двух типах проб. Также принимаются во внимание технологические условия выполнения сварки пробы: сварка «на весу», сварка на подкладках, сварка с подрубкой или зачисткой корня шва, двухсторонняя или односторонняя и т.п.

Таблица 8.1.3-3

Тиры проб, выполненных при испытаниях и условия их сварки			Область одобрения по технологическим условиям сварки				
			Стыковые соединения				Угловые соединения
			SS, mb	SS, nb	BS, gg	BS, ng	
Стыковые (проба типа P_1)	SS	mb	*	-	+	-	+
		nb	+	*	+	+	+
	BS	gg	+	-	*	-	+
		ng	+	-	+	*	+
Угловые (пробы типа P_2)			-	-	-	-	*

***** - металл пробы;

+ - металл, на который распространяется одобрение допуска.

Положение сварки, по которому сварщик прошел испытания дает право выполнять сварку конструкций в границах, указанных в таблицу 8.1.3-4.

Таблица 8.1.3-4

Положение сварки пробы		Область одобрения по положениям сварки							
		Стыковые соединения				Угловые (тавровые) соединения			
		PA	PC	PF	PE	PA	PB	PF	PD
Стыковая проба	PA	*	-	-	-	+	+	-	-
	PC	+	*	-	-	+	+	-	-
	PE	+	-	*	-	+	+	+	-
	PF	+	+	-	*	+	+	+	+
Тавровая проба	PA	-	-	-	-	*	-	-	-
	PB	-	-	-	-	+	*	-	-
	PF	-	-	-	-	+	+	*	-
	PD	-	-	-	-	+	+	-	*

***** - металл пробы;

+ - металл, на который распространяется одобрение допуска.

По типам и маркам присадочного металла сварщик может использовать весь набор марок присадочного металла и любые диаметры, которые предусмотрены WPS (СПС) на способы сварки и классы основного металла, входящие в область одобрения свидетельства о допуске данного сварщика.

8.1.4 Сварщик должен работать с действующим допуском. Срок действия допуска – 2 года. Службой главного сварщика совместно с ОТК ведет учет деятельности каждого сварщика и подтверждает его действие на каждое полугодие соответствующей подписью в допуске. Сварщики, имеющие длительный перерыв (более 6 месяцев) в работе в рамках области действия допуска лишаются допуска.

8.2 Порядок испытаний на допуск

Для получения Допуска Регистра сварщик должен выдержать два испытания:
- теоретические испытания, на которых он должен показать знание процесса сварки, основного металла, присадочных материалов и защитных газов, металлургических основ сварки и правил техники безопасности. Так же сварщик должен знать устройство и порядок подготовки к работе своего оборудования.
- практические испытания, на которых сварщик показывает свое учение выполнять сварные соединения в легких, сложных или самых сложных условиях.

Теоретические испытания сварщиков могут проводиться в форме экзаменов с устными ответами на вопросы билетов и дополнительные вопросы экзаменующих или путем экзаменационного тестирования по специальной компьютерной программе. При любой форме испытаний в работе принимает участие инспектор Регистра. Результаты испытаний оцениваются по двухбалльной системе: удовлетворительно, неудовлетворительно. И оформляются протоколом за подписью экзаменующих и инспектора Регистра.

Как правило, теоретические испытания предшествуют практическим, однако это не является принципиальным, и при целесообразности из организационных причин могут выполняться в обратной очередности.

Основанием для участия в испытаниях инспектора Регистра является оформляемая предприятием Заявка на проведение испытаний в которой персонально указывается каждый сварщик, его стаж, предприятие, где он работает, стандарт на испытания, а так же: процесс и способ сварки, тип свариваемого изделия (пластина или труба), основной металл, тип соединения и положение сварки.

При составлении заявки наиболее важным моментом является назначение типа соединения и положения сварки. Для предприятия выгодно получить возможность иметь минимальные ограничения по области одобрения, т.е. выбрать самое трудное практическое испытание, как например

сварка одностороннего многопроходного соединения в потолочном положении. Однако это может привести к такой ситуации, что сварщик не пройдет испытания для этого уровня сложности. Выбор типа соединения и положения сварки должен быть произведен с учетом практических навыков сварщика.

По заявленной области одобрения проводятся практические испытания. Объем подлежащих сварке проб устанавливается с учетом требований по ограничениям допуска, изложенным в п. 8.1.3. Для этого, чтобы сварщик имел право варить соединение в любом положении, необходимо сварить две пробы: одна в вертикальном и одна в потолочном положении.

Для допуска сварщика к любым типам соединений требуется выполнение сварки пробы «на весу» без подрубки или зачистки корня шва. К такому испытанию готовы только сварщики высшей квалификации.

СТП М3-033-98 сварка проб предусмотрена в специальном приспособлении, исключающим потерю устойчивости пластин и уменьшающих «донники».

Сварка должна выполняться после предварительного закрепления деталей прихватками.

Режимы сварки, марки материала, должны указываться в СПС (WPS) с которой предварительно знакомят сварщика проходящего испытания.

Тип соединения и положение сварки должны соответствовать заявке и СПС.

В процессе сварке пробы подрубка и чередование сторон сварки (на двухсторонних многопроходных соединениях) проводиться по усмотрению сварщика.

Выполненная проба регистрируется в журнале с нанесением регистрационного номера на сваренной пластине и клеймится инспектором Регистра.

Законченные пробы подвергаются контролю и испытаниям. В первую очередь выполняется контроль внешним осмотром и измерением с оформлением протокола контроля. Далее производиться контроль неразрушающими методами и в последнюю очередь производится разделка пробы на образцы и контроль разрушающими методами.

Методы контроля приведены в табл. 8.2-1

Метод контроля	Стыковое соединение	Угловое соединение	Удовлетворительная оценка
Визуальный измерительный	+	+	Недопустимых дефектов нет
R-контроль	+	-	Не ниже балла П Al
Статический изгиб	+	-	Не ниже 120^{O}
Излом	-	+	Недопустимых дефектов нет

При испытаниях на излом, по поверхности излома, производится контроль на наличие недопустимых внутренних дефектов.

Сварщик считается сдавшим испытания, если по всем видам испытаний и по всем методам проведенного контроля получены положительные результаты.

8.3. Стандарт предприятия

«Допуск сварщиков к сварке конструкций, изготавливающихся под Техническим надзором Регистра»

С июля с.г. на предприятии введен стандарт СТП М3-033-98, разработанный в соответствии с письмом ГУР № 000-14.1.8217 от 22.10.96 и евронормами EN 287.2-92. Он определяет порядок и регламентирует организационные вопросы при оформлении Свидетельства о допуске сварщиков к сварке поднадзорных Регистру конструкций из сталей Al – сплавов.

Стандарт охватывает вопросы испытаний сварщиков, допускаемых к сварке корпусных конструкций (листовые конструкции) и сварщиков, допускаемых к сварке трубных систем. Содержание стандарта :

1.Общие положения. Этот раздел содержит общие требования правил Регистра и определяет роль Свидетельства о допуске при организации сварки на предприятии, а также указывает порядок проведения испытаний сварщиков для получения Свидетельства о допуске.

2.Теоретическое обучение и теоретические испытания. В данном разделе регламентируется теоретическая подготовка сварщиков, содержатся методические рекомендации по ее выполнению и устанавливаются формы теоретических испытаний и требования к оформлению результатов испытаний.

3.Практические испытания. Это наиболее сложная часть стандарта. Данный раздел разбит на подразделы, раскрывающие поэтапно процесс практических испытаний. Материал изложен в технологической последовательности проведения испытаний и содержит следующие подразделы :

3.1.Порядок испытаний; изложены основные требования к организации проведения испытаний и дана технологическая последовательность проведения испытаний.

3.2.Типы проб. Их выбор и значение ; установлены типы и размеры проб стыковых, угловых и трубных соединений. Регламентированы требования к изготовлению заготовок, к конкретному оформлению сварных соединений, включая сборку и обработку корня шва, а также установлены правила назначения типа пробы, выбора марки и толщины основного металла, положения сварки и правила маркировки проб, позволяющие устанавливать все данные о пробе и выполнившем ее сварщике.

3.3.Требование к сварному оборудованию и оснастке. Регламентируют тип оборудования, его техническое состояние и устанавливают перечень минимального необходимого оснащения для качественного выполнения сварки проб.

3.4.Требования к расходным и вспомогательным сварочным материалам ; нормируют порядок получения и использования основных сварочных материалов и содержат требования к их качеству, документам и подготовке.

3.5.Сварка труб; содержит требования к организации работ и определяет порядок выполнения пробы, а также устанавливает права сварщика в части настройки и проверки режимов сварки, работы оборудования и качества расходных материалов.

3.6.Контроль проб неразрушающими методами; регламентирует методы контроля в зависимости от типа пробы, марки материала и условий ее выполнения, устанавливает нормативные документы на методику контроля и критерий оценки. Также в подразделе регламентирована последовательность выполнения контроля, порядок оформления заявок на выполнения контроля и документирования результатов контроля, применительно к каждому методу контроля, используемому на пробах.

3.7. Разрушающие испытания: устанавливает методы испытаний в зависимости от класса материала, типа пробы, регламентирует типы, количество образцов и критерии оценки результатов. Установлены требования к разделке проб на образцы, правила отбора мест изготовления образцов, порядок их испытания и документирования результатов.

4. Область одобрения. В этом разделе содержатся сведения необходимые для определения границ компетенции сварщика исходя из типа, толщины материала, условий и положения сварки пробы. Эти вопросы изложены в подразделе 8.1. настоящей темы и нет необходимости излагать их повторно.

5. Оформление и условия действия Свидетельства о допуске. Раздел посвящен правовым вопросам и содержит нормы и требования Правил Регистра по срокам действия, условиям сохранения действия Допуска, по порядку подтверждения действия допуска на очередное полугодие.

Разделом 5 заканчивается основная часть СТПМЗ-033-98. Кроме основной части стандарт содержит 12 приложений.

Перечень приложений:

1. Форма индивидуальной заявки;
2. Форма коллективной заявки;
3. Образец СПС (WPS);
4. Программа курса теоретического обучения сварщиков;
5. Требования к компьютерным программам тестирования;
6. Билеты теоретических испытаний;
7. Комплект чертежей деталей проб типов P_1, P_2, P_3 и P_3';
8. Условные обозначения, используемые Регистром в «Свидетельстве о допуске»;
9. Форма «Журнала регистрации проб и образцов»;
10. Форма «Протокола визуального и измерительного контроля»;
11. Образец «Протокола результатов испытаний»;

12. Чертежи типов образцов разрушающего котроля.

10.Техника безопасности при сварке в защитных газах

10.1 Опасности и вредности при сварке AL- сплавов.

Опасными производственными факторами при сварке в защитных газах являются:

1. Напряжение в электрических цепях сварочного оборудования.
2. Нагретые поверхности металла и сварочной горелки, а как же брызги расплавленного металла.
3. Давление защитного газа в баллоне и газовых магистралях.
4. Тепловое и световое излучение дуги.
5. Способность защитных газов вытеснять воздух из объемов, где может работать сварщик.

Вредными производственными факторами при сварке AL- сплавов в среде аргона являются:

1. Пылегазовыделение сварочного процесса. Общее количество выделяющейся пыли (аэрозолей) составляет: при Tig-сварке 5²/кг (на 1кг присадочной проволоки); при Mig-сварке выделяется 20²/кг.
2. Образование вредных для здоровья человека продуктов в атмосфере производственного помещения. Таким продуктом при сварке является озон. Это трехатомное соединение кислорода: O+O+O=Oз. Озон не стоек, но благодаря этому обладает более высокой окислительной способностью чем кислород. Он образуется при действием ультрафиолетовым излучением дуги. При отсутствии соответствующего уровня ультрафиолетового излучения озон распадается с образованием обычного кислорода:

$$2O_3=3O_2$$

Длительное воздействие озона в избыточных дозах может вызвать отек легких.

3. Вредным является также излучение дуги.
4. При Mig-сварке в рабочей зоне сварщика образуется пары двуокиси азота NO_2. Они ядовиты и относятся ко второму классу опасности (высокоопасные).

В табл. 10.1-1 приведены валовые выделения при Tig и Mig-сварке. Они указывают количество продуктов, выбрасываемое в рабочем объеме при расходовании 1 кг присадочной проволоки. Так же приведены классы опасности и предельно- допустимые концентрации этих продуктов в 1м³ воздуха рабочей среды в мг.

Выделяемые при сварке продукты	Валовые выделения в г/кг при:		Класс опасности*	Предельно-допустимые концентрации (ПДК) мг/ м³
	Mig	Tig		
Общее количество пыли, г/кг, в том числе аэрозоли:	20	5	4	2,0
AL	15	2	4	2,0
Mg	3	0,8	не опасный	-
Озон (O_3), газ	0,1	0,8	2	0,1
Пары двуокиси азота (NO_2)	2,5	-	2	5,0

Эти данные используются для вентиляции. Валовые выделения позволяют определить массу выбросов в атмосферу цеха вредных веществ в единицу времени. ПДК устанавливают норму их концентрации в 1 м³ цеховой атмосферы. На основе этого определяются потребная кратность воздухообмена, которую должна обеспечить вентиляция (общеобменная). Местная вентиляция, как правило, предназначается для удаления из помещения инертного газа и исходя из этого, отсос устанавливается в нижней точки – для Аг и верхней – для Нг.

Опасности и вредности являются основой для разработки правил техники безопасности и пожарной безопасности. Так например опасность поражения электрическим током, находит отражение в правилах эксплуатации электроустановок; брызги и нагретый металл требуют не только защиты от ожогов, но так же требуют учета при предупреждении пожаров. Поэтому Правила пожарной безопасности требуют:
- осмотра рабочего места на предмет горючих и легко-воспламеняющих продуктов.
- запрещение параллельного выполнения сварки и пожароопасных работ,
- запрещение использования легко-воспламеняющихся и горючих продуктов в составе технологического процесса сварки или принятия дополнительных мер по использованию растворителей для обезжиривания кромок.
Так же опасности и вредности принимаются во внимание при выборе средств индивидуальной защиты, при организации работ с учетом их производственных условий, как например в замкнутых и труднодоступных местах.

10.2 Индивидуальные средства защиты.

---

1. Спецодежда – средство защиты тела работающих от пыли, тепловой и ультрафиолетовой радиации (излучений), от брызг горячего металла.
2. Защитные маски со специальными светофильтрами.
3. Респиратор типа «Лепесток» (при Mig-сварке обязателен)

Спецодежда должна воспринимать попадание брызг, тепловой и ультрафиолетовой радиации без разрушений в течение всего срока службы. Ранее срок службы устанавливался от 6 месяцев до 1 года (в зависимости от условий работы). Ворот и рукава куртки (комбинезона) должны быть закрыты. Перчатки, как правило, должны быть из хлопчатобумажных материалов. Применение легкоплавкой синтетики не допускается. Обувь должна исключать попадание в нее брызг. Подошва обуви в процессе работы выполняет роль электроизолятора. Поэтому она должна быть из резины или других термостойких электроизолирующих материалов.
Подбор светофильтров должен производиться с учетом интенсивности излучения дуги. Светофильтры для дуговой сварки имеют прозрачность обратнопропорциональную величине тока дуги и выбираются по значению тока, на котором преимущественно производится сварка.

10.3 Правила техники безопасности

10.3.1 При обращении с баллонам со сжатыми газами.

При обращении с баллонами со сжатыми газами:
1. Не допускается разбирать и производить ремонт вентиля баллона.
2. Не допускается переносить баллон на плече.
3. Не допускается устанавливать баллон вблизи источников тепла или открытого пламени.
4. Не допускается хранить или устанавливать баллоны в вертикальное положение без закрепления, исключающего падение.
5. Не допускается выполнять перевозку баллонов в транспорте не оборудованном под выполнение этой операции. Автотранспорт, используемый для перевозки баллонов со сжатыми газами, должен быть допущен к этому специальным разрешением Котлонадзора.
6. Баллоны должны проходить периодические испытания в органах Котлонадзора. Отметка о проведении испытаний выбивается на не закрашенной части баллона с указанием даты проведения очередного освидетельствования. Использовать баллоны с истекшим сроком освидетельствования запрещается.
7. Баллоны должны иметь окраску, соответствующую виду газа и надпись, определяющую вид газа находящийся в баллоне. Для аргона стандартом установлен серый цвет окраски с черной надписью «Аргон».
8. Газовая аппаратура должна проходить периодические испытания и поверки. Не испытанная и не поверенная аппаратура к использованию не допускается.

9. На газовых магистралях и в местах соединений шлангов с арматурой утечки газа не допускается. Герметичность магистралей и мест соединений должна проводиться раз в три месяца с записью в журнале.
10. Перед подключением баллона убедитесь в исправности газовой магистрали, а также в исправности баллона. Утечка из вентиля баллона – признак его неисправности и к использованию он не допускается.

10.3.2 При сварке в труднодоступных и замкнутых объемах.

Замкнутыми помещениями (объемами) считаются помещения, ограниченные со всех сторон поверхностями, имеющими один или несколько люков (лазов) с размерами, препятствующими свободному и быстрому проходу через них рабочих.
Труднодоступными помещениями (объемами) считаются помещения, в которых ввиду малых их размеров затруднено выполнение работ, а естественный воздухообмен недостаточен.

Эти работы считаются особо-опасными, т.к. Отсутствует возможность быстрой эвакуации работающих в случае создания (возникновения) опасной ситуации. При их выполнении требуется:

- Присутствие вне этого помещения наблюдающего, поддерживающего с работающим визуальную связь, если имеется такая возможность, или с помощью установленных сигналов в течении всего времени выполнения сварки.
- Для обезжиривания кромок или проходов применять этиловый спирт (вместо растворителей).
- Исключать нахождение в этих помещениях горючих и легковоспламеняющихся продуктов, параллельное выполнение других работ, связанное с созданием условий повышенной пожароопасности или загазованности воздушной среды помещения.
- Применение местной вентиляции с забором воздуха в самой нижней точке помещения – при сварке в аргоне и в самой верхней – при сварке в гелии.
- Наличие двух лазов: один свободный – для входа-выхода работающих, другой – для привода коммуникации (шлангов, вентиляции, проводов)
- При необходимости использовать индивидуальное средство защиты органов дыхания.
- Инструктаж мастера перед началом работы.
- Наличие индивидуальных средств защиты и средств сигнализации (в распоряжении наблюдателя)
- Знание всеми работающими значений условных сигналов и безусловное их выполнение.

10.3.3 При работе с электрооборудованием.

1. Перед началом работы необходимо убедиться в исправности сварочного поста. При повреждении электроизоляции кабеля и электрических проводов поста, пост к использованию не допускается.
2. В процессе эксплуатации оборудования для сварки должно проходить периодическую проверку на сопротивление изоляции. Периодичность испытаний сопротивления электроизоляции – 1 раз в три месяца.
3. Корпус источника питания и дополнительного оборудования подлежит заземлению. Заземлению так же подлежит сварочный стол, плита, постель и шина обратного провода, если в производственных условиях применен этот вариант подключения сварочного оборудования.
4. Запрещается сварщикам вскрывать корпус сварочных постов и блоков управления, производить собственными силами ремонт электросхем.

При выявлении неисправности сварщик должен доложить своему непосредственному начальнику.

Ремонт и подключение электросварочного оборудования должны выполнять наладчики или электрики.