

**САМАРСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им. АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Министерство науки, высшего образования
и технической политики РСФСР

Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Методические указания
к лабораторной работе 04.60

Самара 1992

Составитель И.Д.Р у д м а н

УДК 621.791.754 29:658.562

Исследование герметичности сварных соединений из алюминие-
вых сплавов: Метод. указания к лаборатор. работе 04.60 / Са-
мар. авиац. ин-т; Сост. И.Д.Р у д м а н. Самара, 1992. 16 с.

Приведены краткие теоретические основы экспериментов, све-
дения об образцах и испытательном стенде, изложены требования к
последовательности выполнения работы и оформлению отчета.

Указания рекомендованы кафедрами производства летательных
аппаратов для студентов 1, 2, 3 факультетов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Самарского ордена Трудового Красного Знамени
авиационного института имени академика С.П.Королева

Рецензент канд. техн. наук С.В.Т э н е н б а у м

Ц е л ь р а б о т ы: практическое овладение методикой испытаний на герметичность соединений из алюминиевых сплавов, выполненных сваркой плавлением.

Т Е О Р Е Т И Ч Е С К И Е О С Н О В Ы Э К С П Е Р И М Е Н Т А

Алюминиевые сплавы используются для изготовления ответственных конструкций летательных аппаратов, к сварным соединениям которых предъявляются высокие требования герметичности в глубоком вакууме, прочности в сложных условиях нагружения, коррозионной стойкости при длительном контакте с агрессивной средой и т.п.

Нарушение герметичности сварных соединения происходит благодаря раскрытию пор, образовавшихся при сварке в шве и околошовной зоне. Пористость — один из основных дефектов сварных швов — связана с условиями насыщения жидкого металла газом и их выделения при кристаллизации в результате снижения растворимости или протекания химических реакций.

Возникновение пор происходит в два этапа: возникновение устойчивого зародыша газовой фазы и развитие этого зародыша в пузырек макроразмеров. Уменьшения пористости можно добиться, предотвращая образование зародышей газовых пузырьков и создавая условия для их удаления из жидкой ванны до начала ее кристаллизации.

При сварке алюминиевых сплавов наиболее эффективным путем борьбы с пористостью является ограничение растворимости водорода в металле шва. По данным [1] при внешнем давлении над сварочной ванной, равном одной атмосфере, появление зародышей пузырьков и их развитие полностью исключаются, если концентрация водорода в жидкой ванне меньше $0,9 \cdot 10^{-6}$ см³/100 г.

Источником водорода в сварочной ванне [I] является водород, содержащийся во влаге на поверхности свариваемых кромок (первое слагаемое в формуле I) и присадочной проволоки (второе слагаемое), а также в результате перехода в ванну водорода, растворенного в основном (третье слагаемое) и присадочном (четвертое слагаемое) материале:

$$[H]_{ш} = \frac{(e_1 + e_2 + 2S)a_1}{(F_H + F_P)\gamma} 100 + \frac{4 \frac{F_H}{d_{np}} a_2}{(F_H + F_P)\gamma} 100 + m[H]_{ос} + n[H]_{пр}, \quad (I)$$

- где e_1 и e_2 - ширина шва со стороны разделки и со стороны кромки соответственно;
- S - толщина кромок основного материала;
- a_1 и a_2 - коэффициенты, характеризующие объем водорода, выделяющегося с единицы поверхности основного и присадочного материала и растворившегося в сварочной ванне;
- F_H и F_P - площади соответственно наплавленного и расплавленного металла;
- γ - плотность металла шва;
- d_{np} - диаметр присадочной проволоки;
- $m = \frac{F_P}{F_H + F_P}$ - доля участия в образовании шва основного металла;
- $n = \frac{F_H}{F_H + F_P}$ - доля участия в образовании шва присадочного металла;
- $[H]_{ш}$, $[H]_{ос}$, $[H]_{пр}$ - концентрация водорода в шве, основном и присадочном металлах соответственно.

Для случая сварки встык без разделки кромок пластин из алюминия толщиной 7 мм проволокой диаметром 1,3 мм получены следующие данные и результаты расчета [I]:

$$S = 0,7 \text{ см}; \quad d_{np} = 0,13 \text{ см}; \quad e_1 = e_2 = 1,6 \text{ см};$$

$$F_{ш} = 0,48 \text{ см}^2; \quad F_P = 0,97 \text{ см}^2; \quad [H]_{ос} \text{ и } [H]_{пр} \text{ приняты равными } 0,1 \text{ см}^3/100 \text{ г};$$

$$\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3; \quad a_1 = 0,001125 \text{ см}^3/\text{см}^2; \quad a_2 = 0,0015 \text{ см}^3/\text{см}^2.$$

При этом поверхность свариваемых кромок и проволоки подвергалась травлению в растворе NaOH в течение 20 мин; промывке в холодной воде; осветлению в 15% растворе азотной кислоты при температуре 60–65°C; промывке в теплой воде; промывке в холодной воде; сушке при температуре 60°C:

$$[H]_{\text{ш}} = 0,089 + 0,570 + 0,10 \text{ см}^3/100 \text{ г.}$$

Из приведенных данных [I] видно, что основным источником водорода в шве является поверхность присадочной проволоки, доля участия которой возрастает с увеличением толщины свариваемого материала (большая площадь наплавки) и уменьшением диаметра присадочной проволоки (больше ее поверхность).

Алюминиево-магниевые сплавы, содержащие больше 5–6% магния, обладают повышенной склонностью к образованию пористости при сварке. Добавка магния к алюминию увеличивает растворимость водорода в сплаве, которая при температуре T может быть определена из зависимости [I]

$$\lg [H] = -\frac{A}{T} + B + \frac{1}{2} \lg P_{\text{H}_2}, \quad (2)$$

где константы A и B для сплава АМГб равны $A = 2620$ и $B = 1,574$.

При температуре 630°C (начало кристаллизации сплава) и равновесном давлении водорода $P_{\text{H}_2} = 133,32$ Па растворимость водорода оказывается близкой к 1,3 см³/100 г, т.е. значительно большей, чем для алюминия. Это явление связано с окислением магния, окисная пленка которого на поверхности сварочной ванны ухудшает ее защиту. Толстая и рыхлая окисная пленка магния поглощает влагу и, оставаясь в металле ванны, является источником выделения молекулярного водорода в виде пузырьков газа.

Для уменьшения пористости при сварке сплава АМГб необходимо принимать меры к уменьшению в шве окисных пленок. Этого можно добиться соответствующей обработкой поверхности присадочной проволоки (полирование поверхности, плакирование чистым алюминием), уменьшением доли участия проволоки в металле шва, увеличением диаметра проволоки, уменьшением погонной энергии дуги (например, за счет увеличения

скорости сварки). Весьма важным является также разрушение окисной пленки алюминия, которая в жидкой ванне не расплавляется, так как ее температура плавления составляет 2050°C . Разрушению окисной пленки и ее удалению из ванны способствует рациональная форма канавки в подкладном устройстве при сварке стыковых соединений, бомбардировка поверхности ванны электронами или отрицательными ионами при использовании активирующих флюсов на основе галогенов (явление катодного распыления), перемешивание сварочной ванны при воздействии на нее внешним магнитным полем и другие приемы.

Известно уменьшение количества течей при аргонодуговой сварке с прерывистой подачей присадочной проволоки, чему способствует сплошная разноориентированная кристаллизация сварочной ванны [2]. При наложении на сварочную ванну внешнего магнитного поля (магнитная индукция $1,0 - 3,5 \text{ мТл}$, частота реверсирования $3 - 20 \text{ Гц}$) количество течей при сварке деталей из сплава АМг6 толщиной $2,5 \text{ мм}$ уменьшается по сравнению с обычной аргонодуговой сваркой в 4 раза, а со сваркой с прерывистой подачей присадочной проволоки - в 3 раза [3].

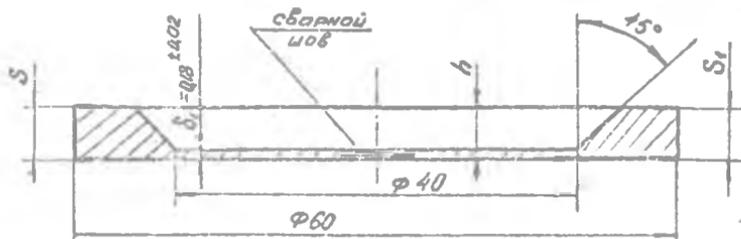
Для оценки склонности свариваемых материалов к образованию пористости и влияния на нее различных факторов стандартами предусмотрены методы испытания на герметичность [4]. Одним из видов контроля для обнаружения сквозных дефектов теческанием является пневмогидравлический пузырьковый аквариумный метод.

Контроль производится скатым газом (гелием, воздухом). Сварной образец разделяет испытательную камеру на две части - в нижнюю поступает под давлением газ, в верхнюю налита жидкость (вода, глицерин). Места локальных течей обнаруживаются по появлению пузырьков газа. Метод испытаний достаточно прост, но обладает высокой чувствительностью - до $10^{-3} - 10^{-4} \text{ мм}^3 \cdot \text{МПа} / \text{с}$.

Изучаемая методика применяется для оценки в лабораторных условиях ожидаемого уровня герметичности сварных швов алюминиевых сплавов, выполненных аргонодуговой сваркой стационарной дугой и с прерывистой подачей присадочной проволоки, с воздействием на сварочную ванну внешнего магнитного поля и другими способами сварки.

ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД

Для испытаний используются образцы-диски (рис.1), вырезанные из



Р и с. 1. Образец для испытаний шва на герметичность

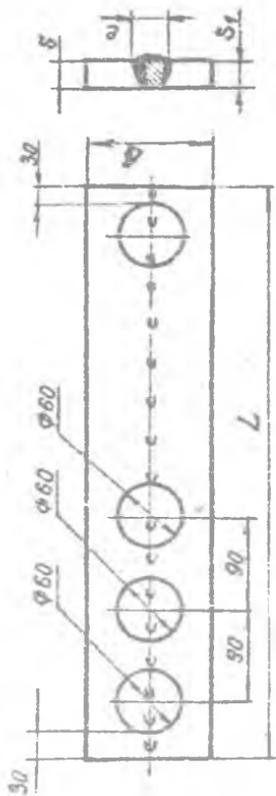
сварного соединения пластин (рис.2). Рабочая часть образца номинальной толщиной $\delta_H = 0,18$ мм располагается на различной высоте по толщине образца h (рис.3), что позволяет исследовать наличие течей в этих сечениях [1,5].

Способ подготовки поверхности пластин и присадочной проволоки к сварке определяется технологией сварки изделий или целыми исследованиями. Для каждого условия исследования используется 15-20 образцов. Фактическая толщина рабочей части образцов $\delta_{ф}$ в местах течей измеряется микрометром после испытаний образцов. Испытания на герметичность проводятся на стенде (рис.4), включающем баллон Б с гелием, редукционные клапаны КР1 и КР2, предохранительный клапан КИ, вентили ВН1, ВН2, ВН3, ВН4, три манометра и камеру для испытаний Ик.

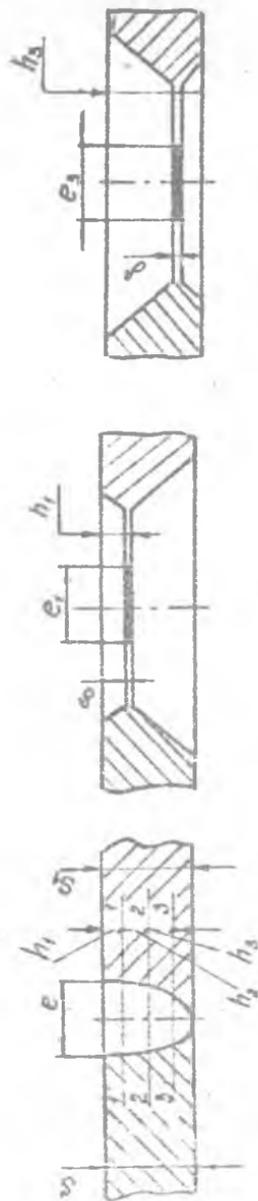
Камера для испытаний (рис.5) состоит из корпуса 1 с сваренным в него штуцером 2 для подвода газа в нижнюю полость 3 корпуса, накладной гайки 4, с помощью которой через прижимную пленку 5 и две уплотнительные шайбы 6 испытываемый образец 7 прижимается к нижней полости корпуса. В верхнюю полость 8 наливается жидкость (вода, глицерин). Необходимое положение прижимной планки 5 определяют штифтом 9.

Наличие течей в швах определяется при давлении газа до 3 кгс/см^2 . За номинальное принято давление, равное 10^5 Па .

Приведение к номинальным условиям испытаний (определение $A_{нр}$) производится умножением фактического количества течей $A_{ф}$ данного образца на коэффициент $K_{ср}$, равный произведению коэффициента K_{δ}

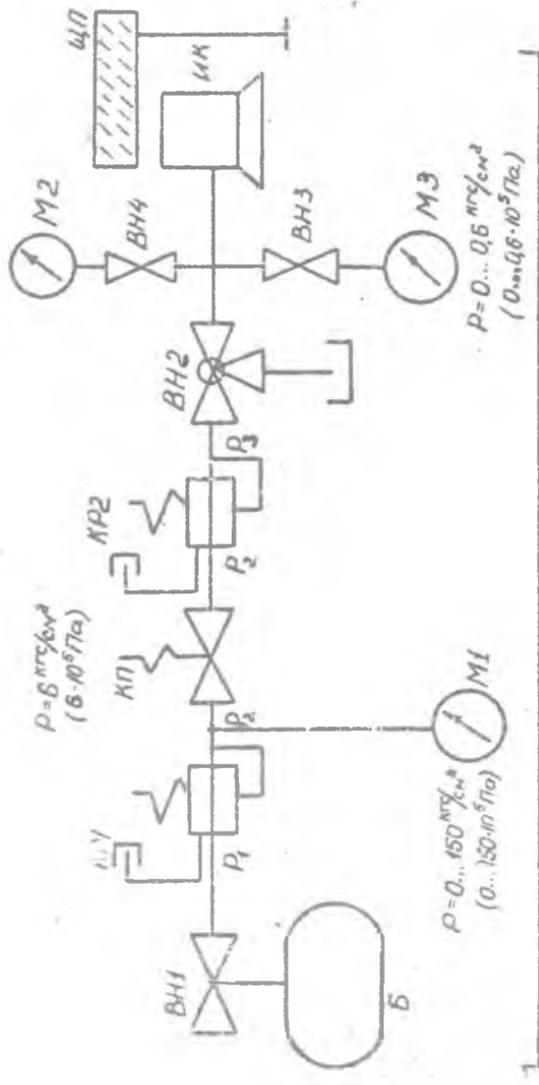


Р и с. 2. Схема вырезки образцов-дисков из пластин

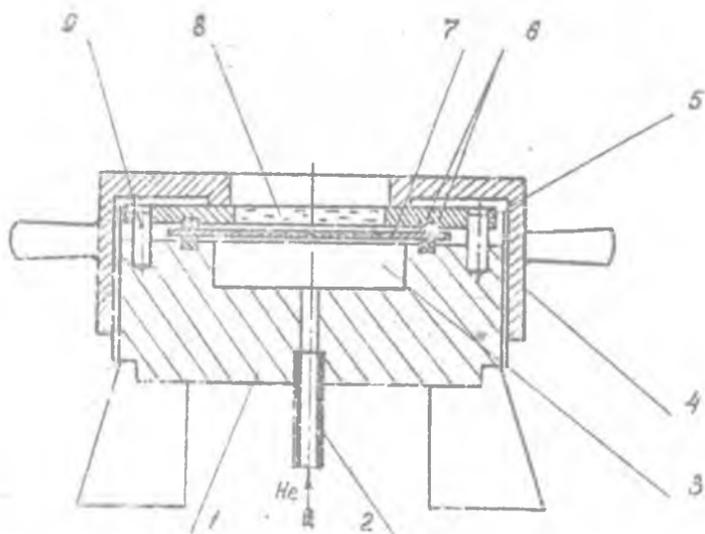


Р и с. 3. Схема вырезки образцов для исследования герметичности в различных сечениях шва по глубине его заложения

$P = 0 \dots 6 \text{ кгс/см}^2 \text{ (} 0 \dots 6 \cdot 10^5 \text{ Па)}$



Р и с. 4. Принципиальная пневматическая схема стенда



Р и с. 5. Камера для испытаний образцов дисков: 1 - корпус камеры; 2 - штуцер подвода газа; 3 - полость для газа; 4 - накидная гайка; 5 - прижимная планка; 6 - уплотнительные вайбы; 7 - испытываемый образец; 8 - жидкость (вода, глицерин); 9 - направляющий штифт

приведения к номинальной толщине рабочей части образца на коэффициент K_p приведения к номинальному давлению испытаний:

$$P_{пр} = P_p \cdot K_p = P_n \cdot K_s \cdot K_p. \quad (4)$$

Коэффициенты K_s и K_p определяются из соотношения

$$\frac{P_s}{P_n} = \frac{r_s}{r_n} \quad (5)$$

$$K_p = \sqrt{\frac{P_n}{P_p}}. \quad (6)$$

Величины коэффициента $K_{\text{БР}}$ для некоторых значений $\sigma_{\text{Ф}}$ и $\rho_{\text{Ф}}$ приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Значения коэффициента $K_{\text{БР}}$

$\sigma_{\text{Ф}}, \text{мм}$	$\rho_{\text{Ф}}, 10^5 \text{Па}$						
	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0
0,10	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
0,11	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
0,12	0,8	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2
0,13	0,9	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
0,14	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3
0,15	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
0,16	1,4	1,0	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4
0,17	1,5	1,1	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5
0,18	1,7	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5
0,19	1,9	1,4	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6
0,20	2,1	1,6	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7
0,21	2,3	1,7	1,4	1,1	0,9	0,9	0,8
0,22	2,6	1,9	1,5	1,2	1,0	1,0	0,8
0,23	2,8	2,1	1,6	1,3	1,1	1,0	0,9
0,24	3,0	2,2	1,8	1,4	1,2	1,1	1,0

Если на образце обнаружено несколько течей, то по величине $A_{\text{пр}}$ для данного образца определяют среднее арифметическое значение коэффициента $K_{\text{БР}}$, а затем находят среднее арифметическое значение приведенного уровня герметичности для всех образцов данной серии.

Герметичность сварных соединений считается удовлетворительной, если 25-кратное значение $A_{\text{пр}}$ не превышает данных табл. 2. Умножение показателя $A_{\text{пр}}$ на 25 необходимо для приведения уровня герметичности к одному метру шва.

Т а б л и ц а 2

Контрольный уровень герметичности сварных швов

Толщина свариваемого материала S , мм	Способ контроля сварного соединения	Контрольный уровень герметичности швов (количество течей на погонный метр шва)
1 - 2	Рентгеноконтроль и пневмогидроиспытания Рентгеноконтроль и гелиевый течеискатель	0,130 0,074
3 - 4	Рентгеноконтроль и пневмогидроиспытания Рентгеноконтроль и гелиевый течеискатель	0,092 0,057
5 - 6	Рентгеноконтроль и пневмогидроиспытания Рентгеноконтроль и гелиевый течеискатель	0,083 0,045
7 - 8	Рентгеноконтроль и пневмогидроиспытания Рентгеноконтроль и гелиевый течеискатель	0,068 0,039

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

К работе допускаются студенты, которые прошли инструктаж по технике безопасности и ответили на вопросы карточек контроля подготовки к выполнению лабораторных работ.

1. Ознакомиться с конструкцией испытательного стенда (см. рис. 4).

2. Закрыть вентили ВН1, ВН3 и ВН4 и редукционные клапаны КР1, КР2, лентиль ВН2 открыть.

3. Закрепить образец в испытательной камере, залить в верхнюю полость камеры жидкость, закрыть камеру предохранительным прозрачным датком ЩП.

4. Закрыть вентиль ВН2, открыть лентиль ВН1 и с помощью редукционного вентилля КР1 установить по манометру М1 давление не более 1 кг/см^2 ($5 \cdot 10^5 \text{ Па}$).

5. Открыть вентили ВНЗ и ВН4 и с помощью редукционного клапана КР2 подать давление в испытательную камеру ИК, следя за показаниями манометра МЗ. При появлении течи отметить показание манометра, место течи обвести карандашом.

6. Закрыть вентиль ВНЗ и продолжать подачу давления в испытательную камеру, следя за показаниями манометра М2. При появлении течи отметить ее положение и показание манометра. Максимальное давление при испытаниях 6 кгс/см^2 ($6 \cdot 10^5 \text{ Па}$).

7. Закрыть редукционный вентиль КР2, вентиль ВН2 открыть в сторону атмосферы, открыть вентиль ВНЗ и стравить давление из нижней полости испытательной камеры.

8. Слить жидкость из верхней полости испытательной камеры, отвернуть накидную гайку и снять образец.

9. Микрометром измерить фактическую толщину рабочей части образца δ_p , а штангенциркулем - размер h .

10. Описанным выше образом провести испытания всех образцов.

11. После испытания всех образцов закрыть вентиль ВН1 на баллоне.

12. Результаты испытаний внести в протокол отчета.

13. По табл. 1 или по формулам (5), (6) определить значения коэффициентов K_δ и K_p приведения к номинальным условиям испытаний, по формуле (4) рассчитать $A_{пр}$ для данного образца и среднее арифметическое значение для партии образцов, сваренных при заданных условиях.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет оформляется на бланке кафедры (см. приложение).

1. Принципиальная пневматическая схема стенда (см. рис. 4), эскиз образца (см. рис. 1) для испытаний на герметичность с указанием основных его размеров (δ , δ_p , h).

2. Краткие выводы по работе, в которых указать влияние условий сварки на герметичность сварных швов и сопоставить ее с контрольным уровнем герметичности (табл. 2)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Н и к и ф о р о в Г.Д. Металлургия сварки плавлением алюминиевых сплавов. М.: Машиностроение, 1972. 264 с.
2. З у б р и е н к о Г.Л., Г а л к и н Н.П., Г а п о н о в Д.А. и др. Аргодуговая сварка алюминиевых сплавов с прерывистой подачей присадочной проволоки // Сварочное производство, 1972. №4. С. 46, 47.
3. С и т я в и н Ю.И., З у б р и е н к о Г.Л., Э н д е л ь ш т е й н А.Е. и др. Влияние управляющего магнитного поля на структуру и герметичность сварных швов сплава АМгб // Сварочное производство, 1978. № 9. С. 33-35.
4. ГОСТ 3242-79. Соединения сварные. Методы контроля качества.
5. Н и к и ф о р о в Г.Д. и др. Об оценке герметичности сварных соединений сплава АМгб при импульсной сварке // Сварочное производство, 1972. № II. С. 46-48.

Приложение

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 04.60

Кафедра производства летательных аппаратов	Наименование работы Исследование герметичности сварных соединений	Лаборатория технологий летательных аппаратов
Дата	Группа	Фамилия студента

Перечень приборов и оборудования

- | | |
|---|----------|
| 1. Стенд для испытаний на герметичность | 4. _____ |
| 2. Микрометр | 5. _____ |
| 3. Стангенциркуль | 6. _____ |

Схема установки

Краткие выводы по работе

Работа зачтена _____ 19__ г.

Подпись преподавателя _____

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Составитель **Рудман Меер Давидович**

Редактор **Н. Д. Чайникова**
Техн. редактор **Г. А. Усачева**
Корректор **Н. С. Купрянова**

Подписано в печать 25.02.92 г. Формат 60×84 1/16.
Бумага оберточная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 0,93. Усл. кр.-отт. 1,05. Уч.-изд. л. 0,83.
Тираж 100 экз. Заказ № 65. Бесплатно.

Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королёва.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Участок оперативной полиграфии
Самарского авиационного института.
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.