

КИЕВСКИЙ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫЙ КОМИТЕТ

Е. О. ПАТОН и Н. И. КОЗЛОВСКИЙ

**СРАВНЕНИЕ
КЛЕПАННЫХ И СВАРЕННЫХ
СКВОЗНЫХ ФЕРМ**

ОПЫТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

ЭТА РАБОТА ЧАСТИЧНО ПРОВЕДЕНА НА СРЕДСТВА,
ОТПУЩЕННЫЕ АВТОГЕННЫМ КОМИТЕТОМ В. С. Н. Х.

**ИЗДАНИЕ КИЕВСКОГО ЭЛЕКТРОСВАРОЧНОГО КОМИТЕТА
КИЕВ — 1931**

КИЕВСКИЙ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫЙ КОМИТЕТ

Е. О. ПАТОН и Н. И. КОЗЛОВСКИЙ

СРАВНЕНИЕ КЛЕПАНЫХ И СВАРЕННЫХ СКВОЗНЫХ ФЕРМ

ОПЫТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

ЭТА РАБОТА ЧАСТИЧНО ПРОВЕДЕНА НА СРЕДСТВА,
ОТПУЩЕННЫЕ АВТОГЕННЫМ КОМИТЕТОМ В. С. Н. Х.

Сканировал и обрабатывал

Лукин А.О.

Библиографическое описание этого
издания помещено в "Літопису
Українського Друку", Картонном
репертуаре і других указателях
Української Книжної Палаты

Киевский гоглит № 34
11-я типография у ПО.
Киев Сенная площадь, 14
Зак. № 73. Тир. 3 000 1½ л.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Стр.

§ 1. Цель исследования	5
§ 2. Описание опытных ферм	5
§ 3. Постановка опытов	8
§ 4. Результаты испытаний	9
§ 5. Сравнение клепанных и сваренных сквозных ферм	19
§ 6. Временное сопротивление швов	24
§ 7. Заключение	24

§ 1. Цель исследования.

Узловые соединения элементов сквозных ферм при электросварке получаются проще и дешевле, чем при клепке. Стоимость сваренной конструкции ниже клепанной по следующим причинам. 1) При электросварке элементы не ослабляются отверстиями, узловые фасонки и стыковые накладки получаются меньше, чем в клепанных конструкциях; вследствие этого получается экономия на металле. 2) Упрощается заводской процесс изготовления, так как отпадает наметка, пробивка и рассверловка дыр. Сварка производится одним рабочим, а для клепки требуется не менее 4-х человек. 3) Электросварка допускает применение своеобразных трубчатых сечений, от чего уменьшается вес сжатых элементов. Для обследования работы сваренных сквозных ферм под статической нагрузкой мы спроектировали фермы X , Y и Z пролетом 5 м и высотой 1 м. Одноименным элементам всех этих ферм мы придали одни и те же сечения из одинаковых уголков. Ферму X мы спроектировали с заклепочными соединениями и с узловыми фасонками; две другие фермы Y и Z — сваренные, при чем в ферме Y для прикрепления раскосов к поясам мы применили узловые фасонки, а в ферме Z — мы приварили раскосы непосредственно к поясам, без применения узловых фасонок. Для контроля результатов испытания все фермы были изготовлены в двух экземплярах. При испытании этих ферм мы преследовали следующие цели:

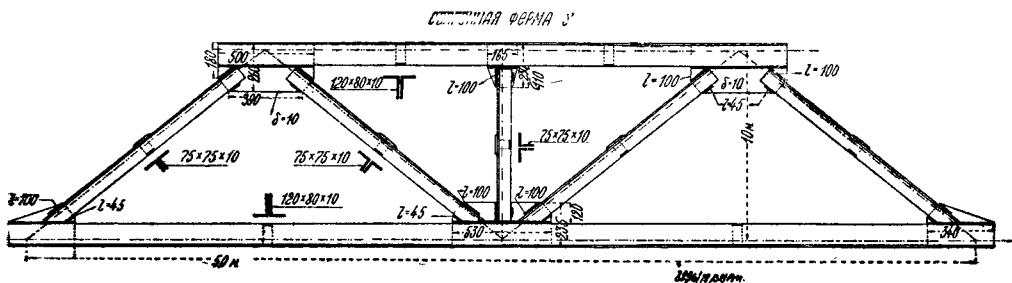
а) сравнение жесткости ферм клепанных и сваренных; б) выяснение влияния способа прикрепления на основные напряжения; с) выяснение влияния условных фасонок на величину дополнительных напряжений и д) сравнение ферм в отношении веса и удобства изготовления.

§ 2. Описание опытных ферм.

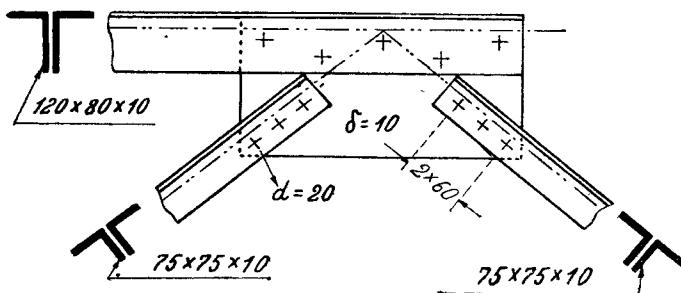
Все шесть ферм имеют расчетный пролет 5 м. и высоту 1 м. Очертание ферм трапециoidalное с треугольной решеткой. По середине фермы имеется стойка, которая разделяет верхний пояс на две части. При проектировании ферм, мы предполагали, что испытание будет производиться грузом, действующим на средний узел верхнего пояса над стойкой. От этого пришлось отказаться и приложить груз в среднем узле нижнего пояса, изгибая ферму выпуклостью вверх. Во всех фермах пояса, раскосы и стойки имеют тавровое сечение из двух уголков; для поясов мы приняли неравнобокие уголки $120 \times 80 \times 10$ мм, а для раскосов и стоек — равнобокие уголки $75 \times 75 \times 10$ мм.

Клепанная ферма X (фиг. 1). Раскосы и стойки приклепаны к узловым фасонкам, зажатым между уголками поясов. Каждый конец раскоса и стойки приклепан тремя двусрезными заклепками диаметром 20 мм. Сопротивление заклепок на смятие меньше, чем на двойное срезывание. Расстояние между заклепками принято 60 мм = $3d$. Деталь верхнего главного узла показана на фиг. 2.

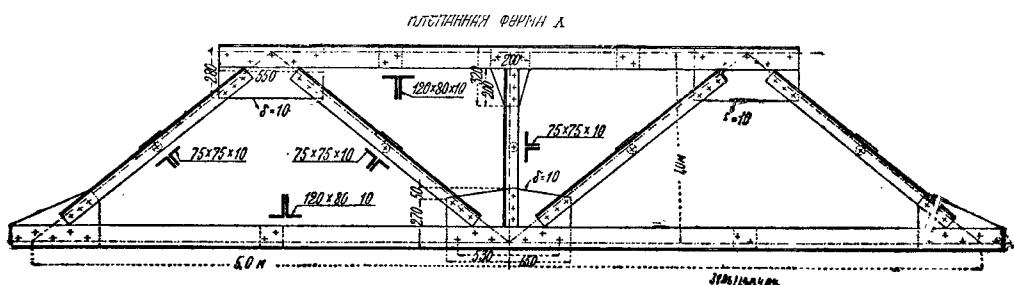
Сваренная ферма У (фиг. 3). Раскосы и стойки приварены к узловым фасонкам двумя продольными швами, которые для центральности прикрепления имеют разную длину; длинный шов в 100 мм



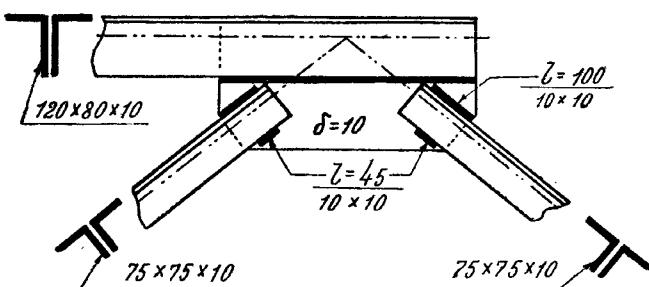
Фиг. 1.



Фиг. 2.



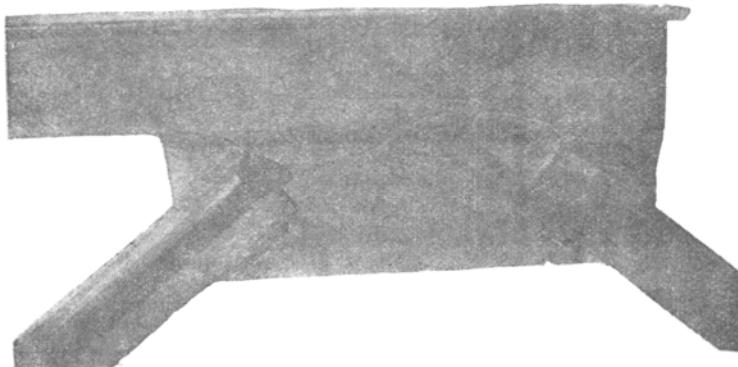
Фиг. 3.



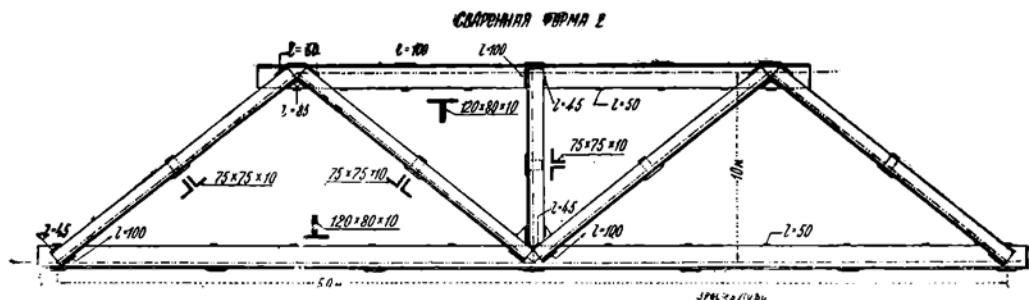
Фиг. 4.

расположен со стороны выступающей полки уголка, а короткий шов в 45 мм с другой стороны. Длина швов обратно пропорциональна расстоянию кромок уголка до его центра тяжести. На фиг. 4 и 5 показан детальный чертеж и фотография верхнего узла. Из снимка видно, что швы, прикрепляющие раскосы к узловой фасонке, сварены длиннее, чем по проекту, а именно 80 мм вместо 45 мм.

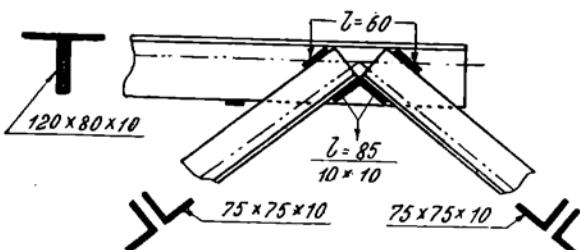
Сваренная ферма Z—без узловых фасонок. Раскосы приварены непосредственно к вертикальным полкам поясных уголков. В верхних узлах раскосы приварены двумя швами одинаковой длины,



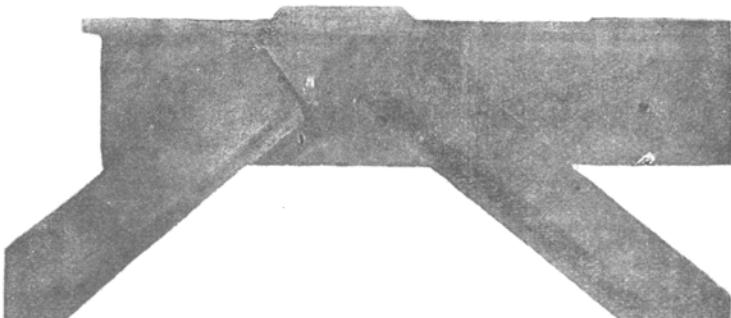
Фиг. 5.



Фиг. 6.



Фиг. 7.



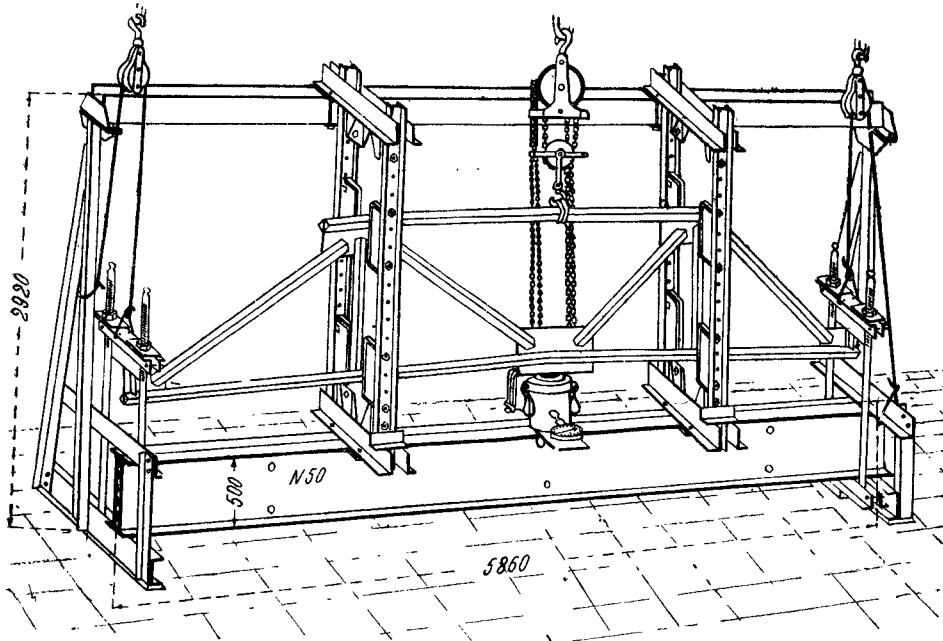
Фиг. 8.

что вызывает дополнительный момент от внецентренного прикрепления. Прикрепление раскосов к поясу в верхнем узле показано на фиг. 7. Фотография того же узла дана на фиг. 8. Во всех 3 фермах

узловые соединения спроектированы равнопрочными, так как три заклепки, прикрепляющие конец раскоса выдерживают 48 тонн, а продольные швы 48,7 тонн.

§ 3. Постановка опытов.

Первое испытание мы произвели на 500-тонном прессе. Ферма была установлена на катковые опоры и нагрузка действовала на средний узел сверху вниз. Этот опыт нам не удалось довести до конца, так как, несмотря на принятые меры, концы верхнего сжатого пояса начали поворачиваться при нагрузке в 29,5 тонн и ферма вышла из вертикальной плоскости. Пришлось перейти к другому



Фиг. 9.

способу испытания. Для удержания ферм в вертикальном положении спроектировали и сварили специальный домкратный станок. Нижняя часть станка представляет контр-ферму длиной 6 м из спаренных двухтавровых балок № 50. Концы испытываемой фермы при помощи тяжей скрепляются с контр-фермой, а по середине пролета на ней установлен домкрат, который вигibtает ферму вверх. Вертикальность фермы обеспечивается двумя рамами, снабженными щеками, между которыми зажимается испытываемая ферма. Для уменьшения трения между фермой и щеками прокладывалась пакля, смоченная маслом. Общий вид станка с установленной на нем фермой показан на фиг. 9.

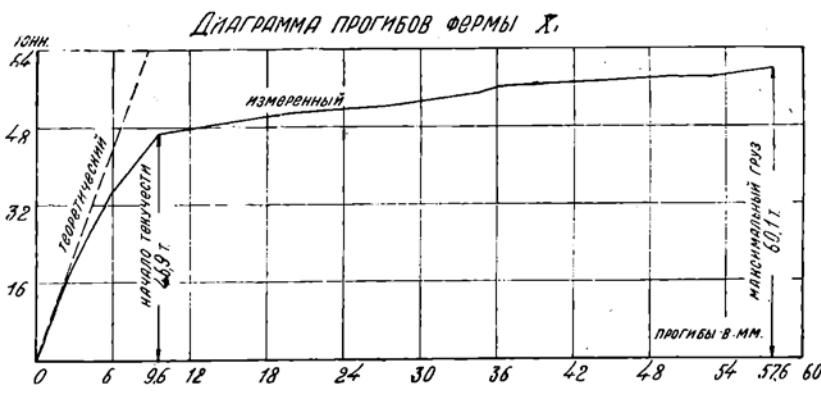
Во время испытания мы измеряли напряжения в сечениях элементов на расстоянии 25—40 см от узлов. Для этой цели в каждом сечении мы ставили по 3 прибора Хуггенбергера. Прогиб среднейго узла мы определяли по трем рейкам, укрепленным по середине пролета и на концах фермы; отсчеты по рейкам мы производили при помощи труб от прибора Мартенса. Такой способ измерения прогиба по трем точкам удобен тем, что на него не оказывает влияния прогиб контр-балки, удлинение тяжей и смятие в местах приложения сил. Нагрузка в виде давления домкрата, измерявшегося

манометром, увеличивалась постепенно от 8 до 12 тонн; каждый раз делались отсчеты по всем приборам.

При вычислении теоретического прогиба и измеренных напряжений мы принимали модуль упругости $E = 2150000 \text{ кг}/\text{см}^2$.

§ 4. Результаты испытания.

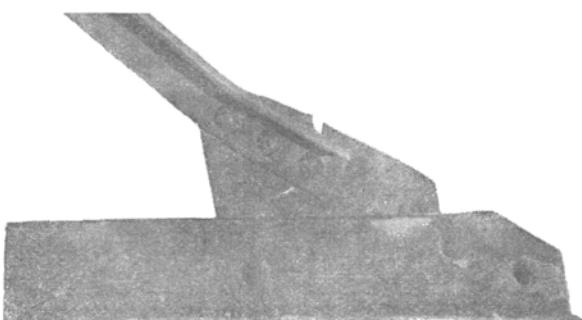
Для каждой фермы мы приводим основные результаты испытания в виде диаграммы прогибов, на которой указываются нагрузки в начале текучести и максимальная. Начало текучести мы называем ту нагрузку, при которой прогиб фермы начинает быстро расти, несмотря на слабое увеличение нагрузки. На диаграмме прогибов этот момент



характеризуется резким переломом кривой прогибов. Рядом с этой кривой показана теоретическая прямая прогибов, вычисленная по Мору.

К л е п а н на я ф е р м а X₁. Диаграмма прогибов помещена на фиг. 10. До нагрузки в 16 тонн измеренный прогиб немного меньше теоретического; затем он становится больше теоретического. Начало текучести соответствует нагрузке 46,9 тонн; в этот момент прогиб = 9,6 мм. При максимальном грузе 60,1 тонн произошел разрыв узловой фасонки по последней заклепке раскоса. На фиг. 11 видно, как в узле O конец раскоса сильно изогнулся; повидимому, это произошло от эксцентрикитета в прикреплении. Заклепки смешены от центра тяжести уголка на 2,3 см. При нагрузке 60,1 тонн усилие в раскосе равно 48,8 тонн, что дает дополнительный момент 1123 к. м. Текущесть фермы вызвана смятием заклепок в прикреплениях. О величине смятия заклепок можно судить по измеренным сдвигам растянутых раскосов в узлах 0, 1, 5 и 4.

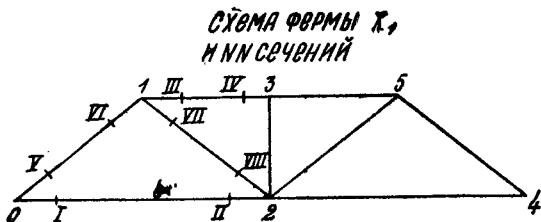
Раскос 0—1	Раскос 4—5
Узел 0 Узел 1	Узел 4 Узел 5
9 мм. 5 мм.	5 мм. 4 мм.



Фиг. 11.

Благодаря таким большим сдвигам прогиб фермы при грузе 60,1 тонн достиг 57,6 мм. В таблице 1 помещены измеренные фиброп-

вые напряжения в элементах фермы. Эти напряжения даны для двух нагрузок 35,1 тонн и 46,9 тонн. Осевые напряжения, помещенные в последних 2-х столбцах таблицы, определены по трем приборам путем приведения к центру тяжести сечения.



Фиг. 12-а.



Фиг. 12-б.

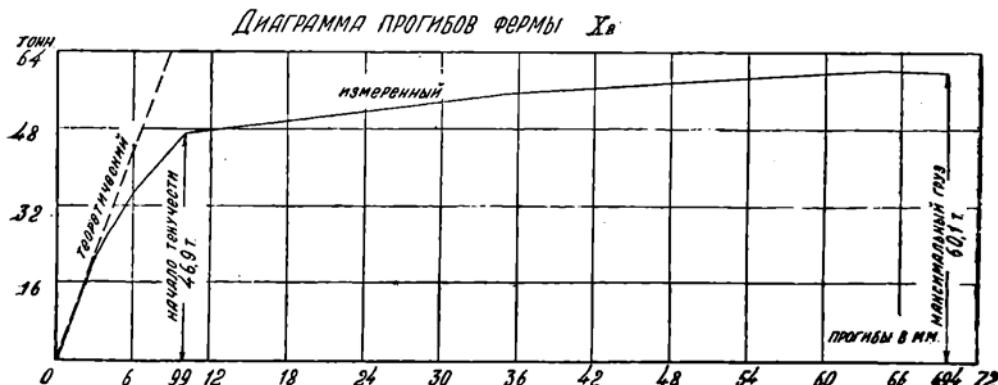
Напряжения, измеренные в элементах клепанной фермы X_1

Таблица № 1

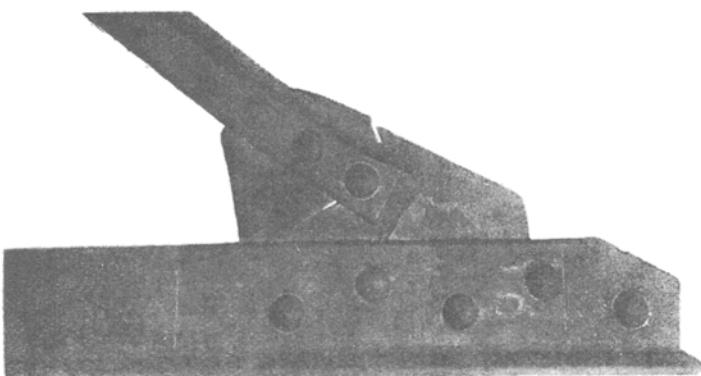
Элементы фермы	Сечение		расстояние от узла см.	№№ прибо- ров	расстояние фиброй м.	Фибровые напря- жения кг/см ² при нагрузке		осевые напря- жения кг/см ²	
	типа	№№				35,1 т.	46,9 т.	35,1 т.	46,9 т.
Нижний пояс . . .	A	I	40	1	4	— 557	— 959	— 441	— 608
				2	4	— 317	— 580		
				3	5	— 452	— 293		
	A	II	40	1	8	— 268	— 362	— 441	— 566
				2	7	— 935	— 1196		
				3	7	— 136	— 163		
Верхний пояс . . .	B	III	40	1	8	+ 1065	+ 1476	+ 978	+ 1298
				2	6	+ 1000	+ 1365		
				3	9	+ 871	+ 1072		
	B	IV	25	1	5	+ 1645	+ 2127	+ 1075	+ 1404
				2	5	+ 1092	+ 1449		
				3	8	+ 527	+ 688		
Раскос 0—1 . . .	C	V	40	1	4	+ 678	+ 626	+ 790	+ 1088
				2	7	+ 633	+ 486		
				3	7	+ 1071	+ 2206		
	C	VI	40	1	6	+ 604	+ 732	+ 800	+ 1270
				2	7	+ 496	+ 686		
				3	9	+ 1292	+ 2390		
Раскос 1—2 . . .	C	VII	40	1	7	— 452	— 559	— 606	— 826
				2	6	— 329	— 434		
				3	8	— 1045	— 1494		
	C	VIII	40	1	6	— 476	— 612		
				2	8	— 478	— 615		
				3	6	— 836	— 1210		
						— 591	— 805		

Второй экземпляр клепанной фермы X_2 . Кривая измеренных прогибов (см. фиг. 13) имеет такой же характер, как и в ферме X_1 .

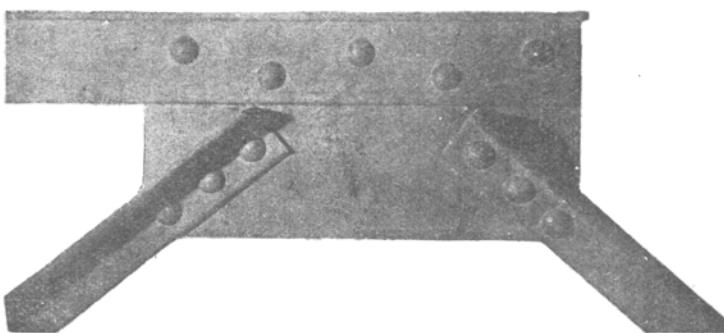
В начале текучести прогиб = 9,9 мм. вместо 9,6 мм фермы X_1 . Начало текучести, максимальный груз и картина разрушения в точности



Фиг. 13.



Фиг. 14.



Фиг. 15.

те же, что и для фермы X_1 , т. е. 46,9 тонн и 60,1 тонн. Разрушение произошло от разрыва фасонки в узле O по последней заклепке (фиг. 14). В узле I обнаружен небольшой разрыв узловой прокладки около первой заклепки раскоса $O-I$. На фиг. 15 отчетливо виден сдвиг раскоса от смятия заклепок. Величина этого сдвига в растянутых раскосах достигла следующих величин:

Раскос $0-1$
Узел 0 Узел 1
24 мм 9 мм

Раскос $4-5$
Узел 4 Узел 5
9 мм 7 мм

Столь большие сдвиги вызвали большой прогиб фермы, доспешший до 69,4 м.м. Напряжения, измеренные в элементах фермы и определенные по ним осевые напряжения, помещены в таблице 2.



Фиг. 16-а.



Фиг. 16-б.

Напряжения, измеренные в элементах клепаной фермы X_2

Таблица № 2.

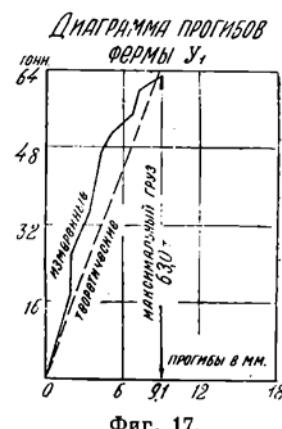
Элементы фермы.	Сечение		Расстояние сечения от узла см	№№ приборов	Расстояние фланцы см	Напряжение кг/см ² при нагрузке:		Осевые напряжения кг/см ²	
	Тип	№№				35,1 т.	46,9 т.	35,1 т.	46,9 т.
Нижний пояс . .	A	I	40	1 2 3	5 6 7	— 610 — 523 — 304	— 1010 — 817 — 79	— 476	— 626
		II	40	1 2 3	7 5 7	— 530 — 670 — 132	— 745 — 871 — 145	— 438	— 578
		III	40	1 2 3	5 9 6	+ 971 + 876 + 928	+ 1343 + 1224 + 1133	+ 925	+ 1230
	B	IV	25	1 2 3	4 8 7	+ 1396 + 1290 + 454	+ 1870 + 1666 + 523	+ 1035	+ 1385
		V	40	1 2 3	6 6 7	+ 593 + 862 + 736	+ 455 + 713 + 1840	+ 731	+ 992
		VI	40	1 2 3	9 6 6	+ 576 + 395 + 1191	+ 634 + 472 + 1515	+ 712	+ 831
Раскос 0 — 1 . .	C	VII	40	1 2 3	8 7 12	— 452 — 449 — 1067	— 464 — 422 — 1496	— 667	— 811
		VIII	40	1 2 3	7 5 8	— 450 — 426 — 1204	— 514 — 559 — 1698	— 694	— 931

Сваренная ферма Y_1 с узловыми фасонками. Диаграмма прогибов изображена на фиг. 17. Кривая измеренного прогиба среднего узла имеет волнистый вид, потому что ферма терлась о щеки рам, обжимавшие пояса фермы. Как видно из диаграммы, линия прогиба целиком расположилась выше теоретической, т. е. измеренные

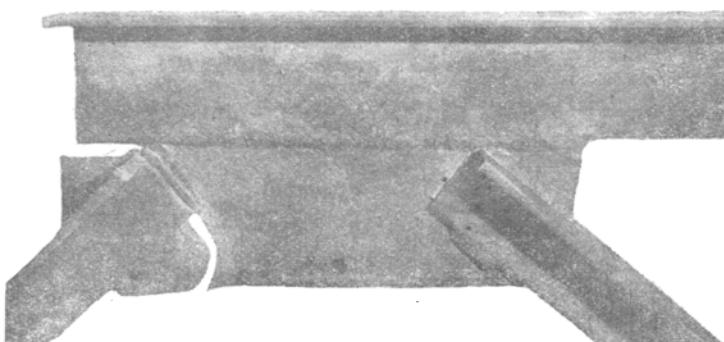
прогибы меньше теоретических. Это явление для данной фермы можно объяснить трением фермы о щеки и жесткостью сваренных узлов. На диаграмме прогибов нет явно выраженного начала текучести. При нагрузке в 63,0 тонн от узла 5 оторвался раскос 4—5 с куском узловой фасонки (фиг. 18).

Эта фасонка имела изъян в виде трещины вдоль нижнего края вертикальной полки поясного уголка, о чём можно было судить по излому. Швы раскоса в этом месте остались неповрежденными. Измеренные напряжения помещены в таблице 3.

Второй экземпляр сваренной фермы Y_2 с фасонками. Диаграмма прогибов помещена на фиг. 20. До нагрузки 56,0 тонн, кривая прогибов проходит выше теоретической, что характерно для сваренной фермы. Как и в предыдущей ферме, не видно начала текучести. Нагрузку мы довели до 68,0 тонн, при чём никаких признаков разрушения мы не обнаружили; ниже приводим таблицу 4 измеренных напряжений.

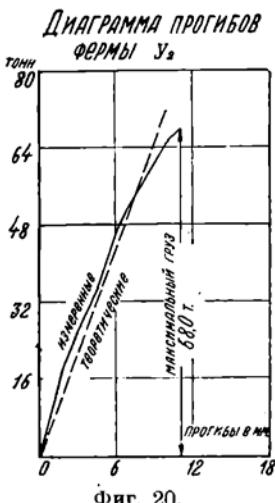


Фиг. 17.

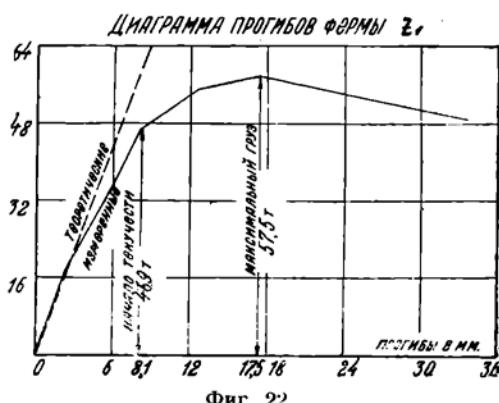


Фиг. 18.

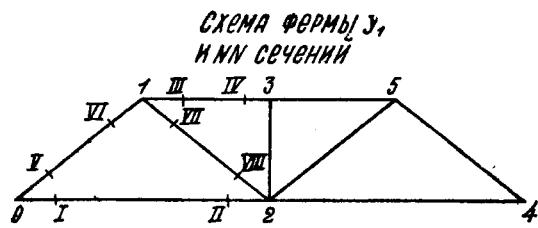
Сваренная ферма Z_1 —без узловых фасонок. Диаграмма прогибов на фиг. 22. До нагрузки 20 тонн, прогибы оказались меньше теоретических; при дальнейшем увеличении нагрузки измеренные прогибы получились больше теоретических. При нагрузках 46,9



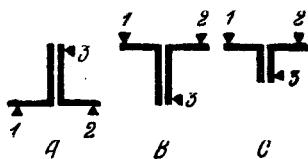
Фиг. 20.



Фиг. 22.



Фиг. 19-а.

ТИПЫ СЕЧЕНИЙ И НН ПРИБОРОВ

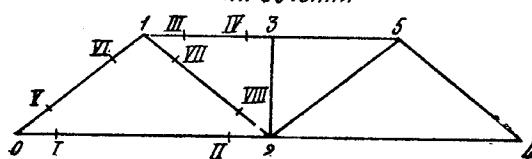
Фиг. 19-б.

Напряжения, измеренные в элементах сваренной фермы Y_1 с фасонками

Таблица № 3

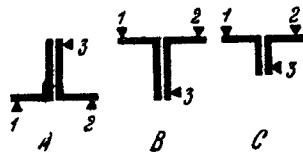
Элементы ферм	Сечение		Расстояние от центра угла см	№ прибо- ров	Расстояние фланцы мм	Напряжение $\kappa\text{t}/\text{cm}^2$ при нагрузке:		Осевые напря- жения $\kappa\text{t}/\text{cm}^2$	
	Тип	№				35,1 т.	46,9 т.	35,1 т.	46,9 т.
Нижний пояс . .	A	I	40	1	5	— 630	— 840	— 502	— 707
				2	10	— 500	— 671		
				3	25	— 664	— 860		
				4	10	— 145	— 408		
	A	II	40	1	5	— 577	— 876	— 484	— 656
				2	15	— 906	— 1132		
				3	15	— 21	— 39		
				4	6	+ 41	+ 27		
Верхний пояс . .	B	III	40	1	15	+1072	+1462	+1142	+1549
				2	11	+1158	+1582		
				3	4	+1241	+1644		
				4	32	+1142	+1542		
	B	IV	25	1	4	+1244	+1578	+1163	+1470
				2	5	+1440	+1654		
				3	12	+ 931	+1337		
				4	8	+ 740	+1060		
Раскос 0 — 1 . .	C	V	40	1	10	+ 635	+ 824	—	—
				2	9	+ 471	+ 656		
				3					
				4					
	C	VI	40	1	8	+ 336	+ 579	+ 528	+ 758
				2	7	+ 300	+ 470		
				3	6	+ 975	+1253		
				4					
Раскос 1 — 2 . .	C	VII	40	1	8	— 581	— 781	— 831	— 1066
				2	10	— 866	— 1054		
				3	9	— 1042	— 1355		
				4					
	C	VIII	40	1	11	— 710	— 889	— 939	— 1220
				2	9	— 794	— 1015		
				3	29	— 1295	— 1727		
				4	11	— 1227	— 1644		

СХЕМА ФЕРМЫ Y_2
И НН СЧЕТЕНИЙ



Фиг. 21-а.

ТИПЫ СЕЧЕНИЙ И НН ПРИБОРОВ



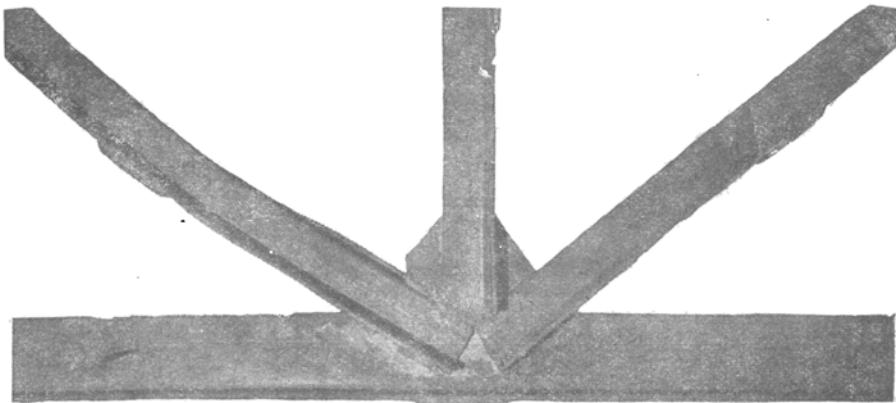
Фиг. 21-б.

Напряжения, измеренные в элементах сваренной фермы Y_2 с фасонками

Таблица № 4.

Элементы фермы	Сечение		Расстояние от сечения до узла, см	НН при- боров	Расстояние фибры, мм	Напряжение $\kappa/\text{см}^2$ при на- грузке		Осевые напряже- ния $\kappa/\text{см}^2$	
	Тип	№№				31,5 т.	46,9 т.	35,1 т.	46,9 т.
Нижний пояс	A	I	40	1 2 3	4 4 9	— 387 — 319 — 663	— 594 — 426 — 880	— 462	— 640
		II	40	1 2 3	5 6 9	— 665 — 858 + 66	— 931 — 1140 + 92	— 471	— 640
		III	40	1 2 3	7 7 8	+ 836 + 942 + 684	+ 1150 + 1284 + 684	+ 818	+ 1031
	B	IV	25	1 2 3	6 8 6	+ 1040 + 1265 + 720	+ 1368 + 1694 + 981	+ 1005	+ 1345
		V	40	1 2 3	6 5 8	+ 617 + 685 + 763	+ 848 + 920 + 1017	+ 688	+ 927
		VI	40	1 2 3	12 9 10	+ 764 + 656 + 938	+ 1022 + 897 + 1210	+ 787	+ 1048
Раскос 0—1.	C	VII	40	1 2 3	7 6 9	— 556 — 339 — 720	— 772 — 536 — 903	— 558	— 738
		VIII	40	1 2 3	7 6 11	— 411 — 342 — 1193	— 577 — 473 — 1608	— 657	— 897

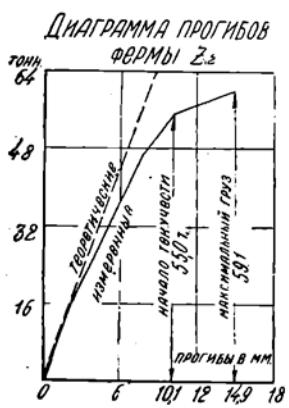
тонн и 55 тонн, кривая прогибов имеет резкие переломы, между которыми находится начало текучести. Принимаем его при нагрузке 46,9 тонн. Нагрузка возросла до 57,5 тонн, после чего она стала падать. Разрушение фермы последовало от выпучивания раскоса 2—5 в плоскости фермы и, кроме того, срезались швы, прикрепляющие этот раскос к узлу 2. Общая картина разрушения видна из фиг. 23 и 24.



Фиг. 23.



Фиг. 24.



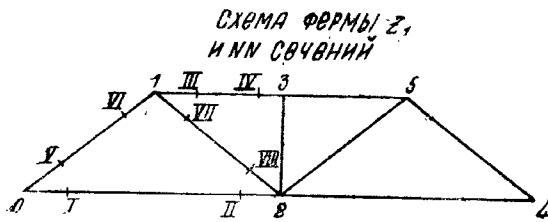
Фиг. 26.



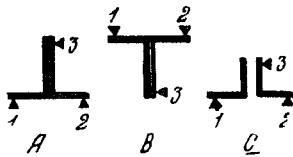
Фиг. 27.

Уголки, образующие раскос 2—5, у узла 2 разошлись и щель между ними увеличилась. Измеренные напряжения помещены в табл. 5.

Второй экземпляр сваренной фермы Z_2 без узловых фасонок. До нагрузки 17 тонн, измеренный прогиб почти совпадает с теоретическим (фиг. 26). При увеличении нагрузки прогибы получились больше



Фиг. 25-а.

ТИПЫ СВЧЕННЫХ И НН ПРИБОРОВ

Фиг. 25-б.

Напряжения, измеренные в элементах сваренной фермы Z, без узловых фасонок

Таблица № 5.

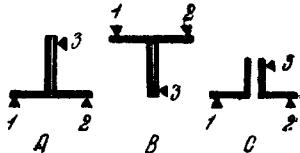
Элементы фермы	Сечение		Расстояние сечения от узла, см	№№ при- боров	Расстояние фиброй мм	Напряже- ние ки/см ² при на- гружене-		Осевые напряже- ния ки/см ²	
	Тип	№№				35,1 т.	46,9 т.	35,1 т.	46,9 т.
Нижний пояс	A	I	40	1	8	— 744	— 902	— 530	— 691
	A	II		2	19	— 387	— 590		
	A	III		3	11	— 492	— 613		
Верхний пояс	B	IV	25	1	7	— 1466	— 1882	— 573	— 768
	B	V		2	12	— 142	— 145		
	B	VI		3	10	— 223	— 373		
Раскос 0-1 .	C	VII	40	1	10	+ 1193	+ 1630	+ 1130	+ 1468
	C	VIII		2	8	+ 1492	+ 1854		
	C	IX		3	12	+ 756	+ 989		
Раскос 1-2 .	C	X	40	1	8	+ 1177	+ 1579	+ 1120	+ 1455
	C	XI		2	8	+ 1745	+ 2200		
	C	XII		3	12	+ 518	+ 692		

теоретических. Началу текучести отвечает нагрузка 55,0 тонн, при которой прогиб достиг 10,1 м. При нагрузке 59,1 тонн срезались швы, прикрепляющие раскосы 1—0 к узлу 1, что видно на фиг. 27. В таблице 6 выписаны измеренные напряжения.



Фиг. 28-а.

Типы сварений и NNN приборов



Фиг. 28-б.

Напряжения, измеренные в сечениях элементов сваренной фермы Z_2 без фасонок.

Таблица № 6

Элементы фермы	Сечение		Расстояние сечения от узла, см	№№ при- боров	Расстояние фюбры м.м.	Фибровые напря- жения $\kappa/\text{см}^2$ при нагрузке:		Оевые напря- жения $\kappa/\text{см}^2$	
	Тип	№№				35,1 т.	46,9 т.	35,1 т.	46,9 т.
Нижний пояс	A	I	40	1 2 3	4 6 10	- 262 - 352 - 502	- 373 - 529 - 660	- 376	- 525
	A	II	40	1 2 3	5 6 5	- 429 - 835 - 316	- 630 - 1118 - 422	- 525	- 721
	B	III	40	1 2 3	10 10 9	+1277 +1472 + 598	+1638 +2104 + 825	+ 1102	+ 1503
Верхний пояс	B	IV	25	1 2 3	5 5 5	+1394 +1376 + 462	+1708 +1860 + 660	+ 1071	+ 1412
	C	V	40	1 2 3	3 7 6	+ 619 + 495 +1165	+ 756 + 710 +1663	+ 733	+ 1030
Раскос 0-1.	C	VI	40	1 2 3	6 4 11	+1021 + 940 +1186	+1343 +1128 +1619	+ 1051	+ 1368
	C	VII	40	1 2 3	13 11 12	- 984 - 874 - 784	1476 1228 1223	- 879	- 1308
	C	VIII	40	1 2 3	4 9 9	- 742 - 734 - 776	986 1170 1181	- 752	- 1100

Как видно из таблиц 1—6, осевые напряжения, определенные по напряжениям в двух разных сечениях одного и того же элемента, иногда разнятся между собой до $300 \kappa/\text{см}^2$. Эти сомнительные случаи в дальнейшем мы исключаем из рассмотрения. Ниже приводим таб. 7 с основными результатами испытания всех шести ферм.

Таблица № 7

Ф е р м ы	Клепанные		Сваренные			
			с фасонками		без фасонок	
	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Z_1	Z_2
Нагрузка:						
в начале текучести т. .	46,9	46,9	—	—	46,9	55,0
максимальная т. .	60,1	60,1	63,0	68,0	57,5	59,1
Прогибы:						
в начале текучести мм	9,6	9,9	—	—	8,1	10,1
при максимальн. грузе мм	57,6	69,4	9,1	11,2	17,5	14,9
Характер разрушения	Разрыв фасонки в узле 0		Разрыв фасонки в узле 1	Не разру- шилась	Выпучился раскос 2 и срезались швы в узле 2	Срезались швы в узле 1

Из этой таблицы видно, что до начала текучести сваренные и клепанные фермы дают сравнительно одинаковые прогибы; при дальнейшем увеличении нагрузки прогибы клепанных ферм сильно растут, в сваренных фермах не наблюдается этого явления. Наибольшую нагрузку выдержали сваренные фермы Y_1 и Y_2 с узловыми фасонками.

§ 5. Сравнение клепанных и сваренных сквозных ферм.

Сваренные и клепанные сквозные фермы можно сравнить: 1) по их работе под нагрузкой, т. е. по нагрузке, какую они выдерживают, по прогибам и по измеренным в них напряжениям; 2) по экономическим показателям, т. е. по весу, по удобству и простоте изготовления конструкции. Каждый из этих вопросов разберем в отдельности.

A. Сравнение жесткости ферм X, Y и Z.

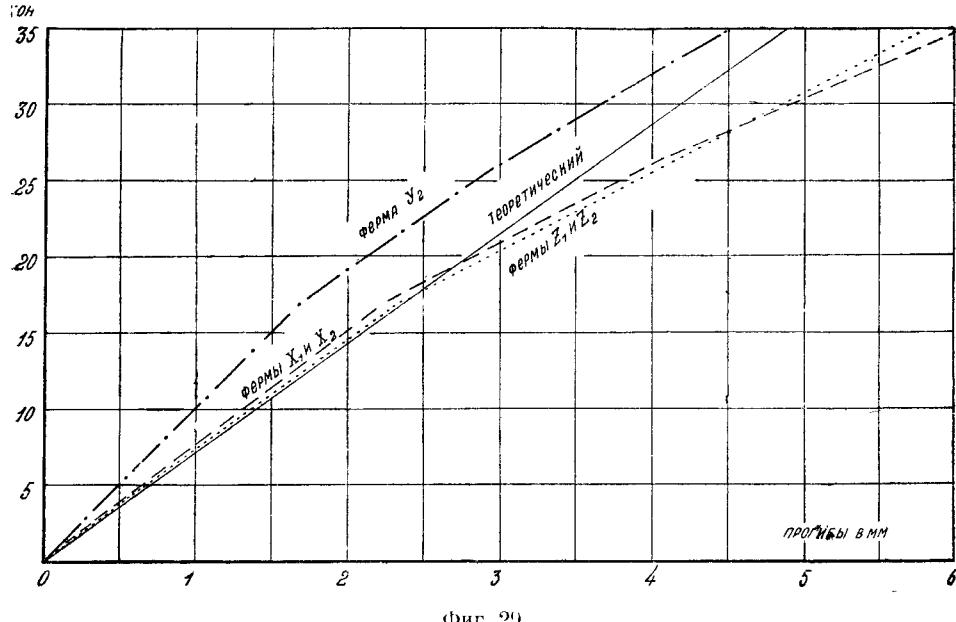
Все испытанные нами фермы имеют одинаковую площадь сечения элементов и совершенно тождественные схемы, поэтому на прогиб ферм оказывает влияние только способ соединения элементов в узлах. В таком случае, о жесткости ферм можно судить непосредственно по измеренным прогибам. В таблице 8 мы выписали прогибы всех шести ферм, измеренные при 4 нагрузках. Во втором столбце для сравнения мы привели теоретические прогибы, рассчитанные по Мору. Во всех случаях однотипные фермы X_1 и X_2 дали почти одинаковые прогибы; поэтому в дальнейшем мы будем пользоваться средними значениями этих прогибов. Тоже самое можно сказать про однотипные фермы Z_1 и Z_2 . Между прогибами однотипных ферм Y_1 и Y_2 наблюдается заметная разница; это объясняется тем, что ферма Y_1 задерживалась благодаря трению между щеками рам и поясами этой фермы; поэтому, прогибы фермы Y_1 мы считаем преуменьшенными и исключаем их из рассмотрения.

Сравнение измеренных прогибов шести ферм до начала текучести.

Таблица № 8.

Нагрузка т.	Теоретич- еские проги- бы по Мору мм	Клепанные фермы		Сваренные фермы с узловыми фа- сонками		Сваренные фермы без узловых фа- сонок	
		X_1 мм	X_2 мм	Y_1 мм	Y_2 мм	Z_1 мм	Z_2 мм
17,1	2,37	2,8	2,2	1,9	1,7	2,3	2,4
25,6	3,55	4,0	3,8	2,0	2,9	4,0	4,0
35,1	4,87	6,0	6,1	3,3	4,5	5,9	5,7
46,9	6,50			4,2	6,1	-8,1	7,8
		наступила текучесть					

Для наглядного сравнения прогибов до начала текучести мы построили график на фиг. 29, содержащий кривую средних прогибов ферм X_1 и X_2 , то же для ферм Z_1 и Z_2 и кривую для фермы Y_2 . Мы построили также прямую теоретических прогибов в предположении шарнирных узлов. Ферма Y_2 , сваренная на фасонках, все время дает прогибы, которые меньше теоретических прогибов, расчитанных в предположении шарнирных узлов. Это указывает на то, что прогиб



Фиг. 29.

уменьшается под влиянием жесткости узловых соединений, какие имеет ферма Y_2 , сваренная на фасонках. Клепанные фермы X_1 и X_2 до нагрузки в 20 тонн прогибаются немногим меньше, чем дает расчет в предположении шарнирных узлов. После 20 тонн прогибы становятся больше теоретических. Для ферм Z_1 и Z_2 , сваренных без фасонок, повторяется также картина, и вообще прогибы этих ферм мало разнятся от прогибов клепанных ферм. Итак, до начала текучести наибольшую жесткость имеют фермы, сваренные на узловых фасонках, а фермы, сваренные без фасонок имеют почти такую же жесткость, как клепанные фермы. За пределом текучести сваренные фермы прогибаются во много раз меньше клепанных ферм.

Б. Сравнение осевых напряжений.

Если бы испытанные нами фермы имели идеально-шарнирные узлы, то при одной и той же нагрузке одноименные элементы имели бы одинаковые осевые напряжения. Эта картина нарушается под влиянием неодинаковой жесткости, какую имеют узловые соединения наших ферм. Осевые напряжения, измеренные нами в двух сечениях каждого элемента, мы выписали в таблицах 9 и 10, при чем в таблице 9 напряжения соответствуют нагрузке 35,1 тонн, а в таблице 10 — нагрузке — 46,9 тонн. В каждой таблице напряжения можно объединить по сечениям и по элементам однотипных ферм, так, что для каждого стержня мы получим четыре осевых напряжения. Для большинства стержней эти четыре напряжения мало отличаются друг от друга; но в некоторых случаях какое-нибудь из этих 4 напряжений резко выделяется; например напряжение 376 кН/см^2 в нижнем поясе фермы Z_2 таблица 9.

Таблица № 9.

Оевые напряжения $\text{кг}/\text{см}^2$, измеренные в элементах ферм при нагрузке 35,1 тонн.
(Из таблиц 1 — 6).

Фермы Элементы	Клепанные		Сваренные			
			с узловыми фасонками		без узловых фасонок	
	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Z_1	Z_2
Нижний пояс	— 441	— 476	— 502	— 462	— 530	— 376
	— 441	— 438	— 484	— 471	— 573	— 525
Верхний пояс	+ 978	+ 925	+ 1142	+ 818	+ 1130	+ 1102
	+ 1075	+ 1035	+ 1163	+ 1005	+ 1120	+ 1071
Восходящий раскос . . .	+ 790	+ 731	—	+ 688	+ 810	+ 733
	+ 800	+ 712	+ 528	+ 787	+ 1050	+ 1051
Нисходящий раскос . . .	— 606	— 667	— 831	— 558	— 1053	— 879
	— 591	— 694	— 939	— 657	— 985	— 752

Таблица № 10.

Оевые напряжения $\text{кг}/\text{см}^2$, измеренные в элементах ферм при нагрузке 46,9 тонн.
(из таблиц 1 — 6).

Фермы Элементы	Клепанные		сваренные			
			с узловыми фасонками		без узловых фасонок	
	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Z_1	Z_2
Нижний пояс	— 608	— 626	— 707	— 640	— 691	— 525
	— 566	— 578	— 656	— 640	— 768	— 721
Верхний пояс	+ 1298	+ 1230	+ 1549	+ 1031	+ 1468	+ 1503
	+ 1404	+ 1335	+ 1470	+ 1345	+ 1455	+ 1412
Восходящий раскос . . .	+ 1088	+ 992	—	+ 927	+ 1078	+ 1030
	+ 1270	+ 861	+ 758	+ 1048	+ 1350	+ 1368
Нисходящий пояс	— 826	— 811	— 1066	— 738	— 1359	— 1308
	— 805	— 931	— 1220	— 897	— 1275	— 1100

Таблица № 11.

Средние оевые напряжения $\text{кг}/\text{см}^2$ в элементах ферм X , Y и Z .

Фермы Элементы	Клепанная X	Сваренная на фасон- ках Y	Сваренная без фасо- нок Z	Теорети- ческие на- пряженя
				Нагрузка 35,1 тонн
Нижний пояс	— 449	— 480	— 543	— 574
Верхний пояс	+ 1003	+ 1032	+ 1106	+ 1145
Восходящий раскос	+ 758	+ 738	+ 911	+ 962
Нисходящий раскос	— 640	— 746	— 917	— 962
Нагрузка 46,9 тонн				
Нижний пояс	— 595	— 661	— 726	— 766
Верхний пояс	+ 1317	+ 1349	+ 1460	+ 1530
Восходящий раскос	+ 981	+ 988	+ 1206	+ 1285
Нисходящий раскос	— 843	— 980	— 1260	— 1285

То же самое можно сказать о напряжениях, подчеркнутых в таблицах 9 и 10. Эти напряжения мы считаем ошибочными и исключаем их из дальнейшего рассмотрения. По остальным напряжениям мы определили среднее напряжение для каждого элемента и для каждого типа ферм и выписали их в таблице 11. Для сравнения мы привели также теоретические напряжения.

Из этой таблицы видно, что при той и другой нагрузке (35,1 тонн и 46,9 тонн) наименьшие осевые напряжения имеет клепанная ферма, немного большие — сваренная ферма Y с узловыми фасонками и наибольшие напряжения — сваренная ферма Z без узловых фасонок. Для всех ферм осевые напряжения остаются ниже теоретических, причем к шарнирной системе больше всего приближается сваренная ферма без фасонок, что было отмечено при рассмотрении прогибов.

В. Влияние узловых фасонок на величину дополнительных напряжений.

Величина дополнительных напряжений зависит от жесткости узловых соединений. Эта жесткость зависит от размеров узловых фасонок, которые чаще всего применяются в клепанных фермах. В сваренных фермах узловые фасонки вообще меньше по своим размерам, чем в клепанных фермах; но сварка дает возможность обойтись и без узловых фасонок. Несмотря на некоторую грубость наших опытов, произведенные нами измерения напряжений все же позволяют сделать некоторые выводы. По напряжениям, измеренным в исходящем среднем раскосе всех шести ферм в сечениях около узлов 1 и 2, мы определили осевые напряжения и вычислили дополнительные напряжения в крайних фибрах при нагрузках 35,1 тонн и 46,9 тонн. Результаты этих вычислений мы приводим в таблице 12.

Таблица № 12.

Дополнительные напряжения $\text{кг}/\text{см}^2$ от жесткости узлов в среднем раскосе

Узлы	Фермы	Клепанные				Сваренные							
		X_1		X_2		Y_1		Y_2		Z_1		Z_2	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
При 46,9 т. [При 35,1 т.]	Верхняя фибра	+215	+114	+217	+250	+106	+188	+ 82	+280	+ 14	+164	+123	- 34
	Нижняя фибра	-518	-274	-513	-602	-255	-453	-198	-675	- 6	-68	-51	+ 14
	Верхняя фибра	+329	+191	+368	+388	+146	+270	+ 84	+372	+101	+173	+111	- 43
	Нижняя фибра	-793	-460	-886	-935	-352	-651	-202	-896	- 42	-72	-46	+ 18

Для сваренных ферм Z_1 и Z_2 без узловых фасонок дополнительные напряжения от жесткости узлов получились значительно ниже, чем для сваренных и клепанных ферм с узловыми фасонками, что видно из таблицы 12. Нам не удалось проследить это явление для остальных элементов, так как фермы были спроектированы для нагрузки верхнего узла; мы же испытывали в обратном направлении, т. е. давили домкратом на нижний узел. При этом средняя стойка выпирала верхний пояс, что отражалось на дополнительных напряжениях в верхних узлах.

Г. Прочность сваренных и клепанных ферм.

Разрушение ферм наступило при разных нагрузках и от разных причин. Клепанные фермы X_1 и X_2 вследствие полной их тождественности, дали одинаковые результаты испытания и одинаково разрушались от разрыва фасонки в опорном узле. При испытании однотипных сваренных ферм не наблюдалось такой аналогии. Фермы Z_1 и Z_2 , разрушились от среза швов, но в разных узлах. Ферма Y_1 разрушалась от разрыва узловой фасонки, а ферма Y_2 не была доведена до разрушения. Итак, во всех пяти фермах, доведенных до разрушения, не выдержали узловые соединения. Измеренные нагрузки, приведенные в таблицах 13, скорее характеризуют прочность узловых соединений, а не общую прочность ферм.

Таблица № 13.

Фермы	Клепанные		Сваренные с узловыми фасонками		Сваренные без узловых фасонок	
	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Z_1	Z_2
Нагрузка						
В начале текучести т. . .	46,9	46,9	—	—	46,9	55,0
Максимальная т. . .	60,1	60,1	63,0	68,0	57,5	59,1
Причина разрушения,	Разрыв фасонки в узле 0	Разрыв фасонки в узле 1	Не раз- руши- лась	Срезались швы в узле 2 и выпу- чились рас- кос 2-5	Среза- лись швы в узле 1	

Если бы узловые соединения были сделаны прочнее элементов, то сваренные фермы оказались бы прочнее клепанных потому, что их элементы не ослаблены заклепками.

Д. Сравнение ферм в отношении их веса.

При сравнении веса испытанных нами ферм надо иметь в виду, что одноименные элементы этих ферм выполнены одинакового сечения, т. е. во всех фермах пояса состоят из 2 уголков $120 \times 80 \times 10$ мм, а раскосы и стойки — из уголков $75 \times 75 \times 10$ мм. Поэтому разница в весе разнотипных ферм получается только от разного способа прикрепления раскосов и стоек в узлах и от длины этих элементов в зависимости от конструкции узлов. В таблице 14 мы выписали веса составных частей ферм и их полный вес.

Вес ферм клепанной и сваренных

Таблица № 14.

Фермы	X	Y	Z
Пояса из уг. $120 \times 80 \times 10$ мм кг	248	246	243
Раскосы из уг. $75 \times 75 \times 10$ мм кг	109	109	137
Стойки из уг. $75 \times 75 \times 10$ мм кг	18	18	21
Узловые прокладки . . . кг	59	42	3 ¹⁾
Соединительные планки и про- кладки в элементах . . . кг	13	10	9
Итого кг	447	425	413
Уменьшение веса в % по отношению к клепанной ферме	—	5	8

¹⁾ Прокладка для прикрепления стойки в нижнем среднем узле.

Наибольший вес имеет клепанная ферма, сваренная ферма Y — с узловыми фасонками легче клепанной на 5%, а сваренная ферма Z, легче на 8%. При исчислении веса мы не учли веса заклепочных головок и швов. Клепанная ферма получится сравнительно еще тяжелее, если фермы спроектировать равнопрочными; при этом придется увеличить сечение элементов клепанной фермы ввиду их ослабления заклепочными дырами.

§ 6. Временное сопротивление шва на срез.

При испытании сваренных ферм разрушение швов наступило в фермах Z₁ и Z₂. В ферме Z₂ срезались швы, прикрепляющие восходящий раскос к узлу I; измеренная площадь сечения этих швов по разрыву за вычетом непроваров = 18,4 см², а полная площадь сечения 19,5 см², т. е. непровар = 6 %. Разрушение шва наступило при нагрузке 59,1 т. При этом усилие в раскосе S = 0,8 × 59,1 = 47,3 тонн. Срезывающее напряжение в шве:

$$n = \frac{47300}{18,4} = 2570 \text{ кг/см}^2$$

Это напряжение и небольшой непровар в 6% свидетельствуют о сравнительно хорошей сварке.

Разрушение шва в ферме Z₁, произошло главным образом от выпучивания раскоса 2 — 5; поэтому здесь швы не имели среза в чистом виде. Кроме того, нам не удалось промерить площадь по излому и поэтому мы не можем определить временное сопротивление. В неразрушившихся швах напряжение при максимальном грузе составляют:

Ф е р м ы	Y ₁	Y ₂	Z ₂
Усилие в раскосе при максимальном грузе тонн . . .	50,4	54,4	47,3
Наименьшая площадь брутто промеренных швов см ² . .	21,3	25,9	22,0
Напряжение в швах кг/см ² . .	2360	2100	2170

§ 7. Заключение.

Произведенное нами сравнение сваренных и клепанных сквозных ферм приводит нас к следующим выводам.

1) Жесткость сваренных ферм с узловыми фасонками значительно больше, чем клепанных. Сваренные фермы без фасонок имеют такую же жесткость, как клепанные. За пределами текучести прогиб сваренных ферм растет во много раз медленнее, чем прогиб клепанных ферм.

2) Сквозные фермы, сваренные без узловых фасонок, в отношении прогибов и осевых напряжений приближаются к шарнирной ферме.

3) При одинаковой прочности сваренные фермы получаются заметно легче клепанных.

4) Изготовление сваренных ферм проще, чем клепанных.

Опытные фермы изготовлены чугунным цехом завода им. Петровского в Днепропетровске. Испытание произведено в Электросварочной Лаборатории Украинской Академии Наук в Киеве.

Декабрь 1930 г.

Цена 55 коп.

**Напечатанные исследовательские работы Киевского
Электросварочного Комитета.**

ПАТОН и КОЗЛОВСКИЙ. Металлографическое исследование электросваренных конструкций. 1930 г.

ПАТОН и ДЯТЛОВ. Ударные испытания электросваренных конструкций 1930 г.

ПАТОН, КОЗЛОВСКИЙ и ГОРБУНОВ. Электросваренные двутавровые балки из 3-х листов 1931 г.

ПАТОН и КОЗЛОВСКИЙ. Стыки электросваренных двутавровых балок 1930 г.

ПАТОН и КОЗЛОВСКИЙ. Опытное сравнение электросваренных и клепанных прикреплений продольных балок к поперечным 1930 г.

ПАТОН и КОЗЛОВСКИЙ. Сравнение клепанных и сваренных сквозных ферм 1931 г.

ПАТОН и ПЕТРОВ. Изыскание рационального типа электросваренных сквозных ферм 1931 г.
