

Ю. Г. ФУРСА

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗДАЧИ  
ЗАКЛЕПОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ГЛАДКОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ  
ОБШИВОК****ВСТУПЛЕНИЕ**

В настоящее время большинство самолетных конструкций соединяются путем клепки. Поэтому процесс клепки привлекал и привлекает самое пристальное внимание исследователей как в научно-исследовательских институтах, так и на производстве. Особое внимание уделяется вопросу качества клепанной поверхности. В процессе клепки, вследствие раздачи заклепки, несоосности отверстий в каркасе и обшивке, несоосности молотка и заклепки, неправильной зенковки, плохого качества каркаса, переклепа, на обшивке получают различного рода дефекты: утяжки, вмятины, провалы, выпучины и хлопуны. Последние чаще всего получают при клепке тонких обшивок (0,8 мм и меньше), которые все еще применяются как на скоростных, так и на сравнительно тихоходных самолетах.

Хлопуны на обшивке не допускаются техническими условиями, и их устранение на производстве причиняет много неприятностей, так как заставляет прибегать к различным мероприятиям (постановке дополнительных подкрепляющих профилей, переклепу обшивки), что и утяжеляет конструкцию и дезорганизует ритмичную работу предприятия.

Не случайно, что вопросу качества клепанной поверхности уделяется особенное внимание, так как некачественный шов, с одной стороны, ухудшает аэродинамические характеристики самолета, а с другой — значительно влияет на прочностные характеристики, ухудшая их.

В настоящее время имеются исследования по вопросам влияния раздачи заклепки (и заклепочного отверстия) на качество заклепочного шва и на прогибы обшивки, которые при этом получают, между двумя заклепками одного и того же заклепочного шва или между соседними заклепками двухрядного заклепочного шва, в зависимости от толщины обшивки, диаметра заклепки и способа клепки. Но все еще не разрешен вопрос, какова будет поверхность при клепке различными диаметрами заклепок, разных толщин обшивок при различных соотношениях сторон клетки, между двумя соседними элементами каркаса самолетной конструкции.

Изучению прогибов тонких обшивок между двумя соседними элементами каркаса, определению критической величины прогиба, вызывающей появление хлопуна, в зависимости от диаметра заклепки, толщины обшивки и расстояния между элементами каркаса с одной стороны, а с другой — нахождению способов, предотвращающих возникновение больших прогибов, вызывающих хлопуны, и посвящена настоящая статья.

### § 1. Определение прогибов тонких обшивок, вызванных различными диаметрами заклепок

Предварительные эксперименты показали, что при клепке обшивок толщиной от 1,0 до 0,3 мм на каркас с разным соотношением сторон одной толщины приклепываются без хлопунгов (1,0 мм и изредка 0,8 мм, последняя в зависимости от величины клетки; чем клетка больше по размерам, тем вероятность появления хлопунга больше), другие же толщины — 0,6, 0,5, 0,4 и 0,3 мм — почти всегда при клепке давали хлопунги.

Возникает вопрос, какова должна быть критическая величина прогиба, чтобы при клепке появился хлопунг?

За отправную величину клетки была взята клетка одной, реально существующей, самолетной конструкции, размером 420 x 300 мм, с толщиной обшивки 0,8 мм, при клепке которой в производственных условиях почти всегда появляется хлопунг. В современных машинах имеются клетки еще больших размеров и тоже с тонкой обшивкой, меньше 1,0 мм.

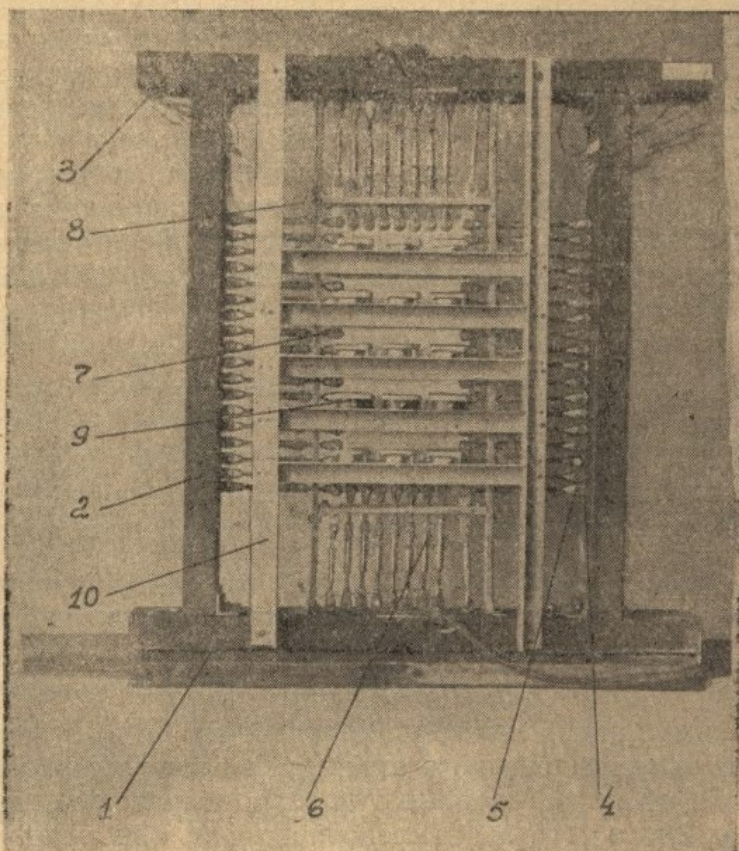


Рис. 1. Опытная установка для определения прогибов тонких обшивок.

Непосредственная клепка панелей требует значительных затрат и расхода материалов. Поэтому осуществлена попытка моделирования процесса клепки, исходя из следующих условий: зная величину раздачи заклепочных отверстий (6÷15%), воссоздать эту раздачу на листах обшивки и замерять возникающие при этом прогибы с одновременной проверкой на наличие хлопунга.

С этой целью была спроектирована и изготовлена опытная установка, представленная на рис. 1 и включающая в себя следующие элементы: а) силовая рама, состоящая из основания 1, двух стоек 2 и верхней

траверсы 3. Основание, стойки и траверса изготовлены из швеллера и между собой стянуты на болтах косынками. Для возможности испытания клеток с разными отношениями сторон стойки можно переставлять так, что получаются следующие размеры клеток по отношению  $\frac{a}{b}$ : 1,0; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1, где  $a$  и  $b$  — размеры сторон клеток, при наибольших размерах  $a=b=420$ , 375 и 210 мм. Для получения размеров  $a=b=375$  мм и  $a=b=210$  мм имеется дополнительно по две пары стоек.

По всему периметру внутреннего контура рамы, с равным шагом в 25 мм, посредством ушек 4 и валиков 5 укреплены тандеры 6 по 16 штук на верхней траверсе и основании и по 18 штук на боковых стойках. В противоположные ушки тандеров при помощи фиксаторов 7 крепится обшивка. Увеличивая длину тандера, можно имитировать раздачу заклепки и заклепочного отверстия при клепке.

Для предотвращения выхода тандеров из своей плоскости в установке предусмотрена ограничительная рама 8, с внешней стороны которой укреплены лимбы для отсчета необходимого перемещения ушка тандера (т. е. раздачи заклепочного отверстия), на муфте которого имеется стрелка.

Каждый первый, четвертый, седьмой, восьмой, девятый, двенадцатый и шестнадцатый тандеры верхнего и нижнего рядов имеют электрические датчики сопротивления для возможности замера усилия, необходимого для раздачи заклепочного отверстия. Датчики также укреплены на правом и левом ряде тандеров. Каждый датчик предварительно был протарирован и снабжен тарировочным графиком при нагрузке и разгрузке.

Прогибы обшивки замерялись с помощью индикаторов часового типа 9, с точностью измерений в 0,01 мм. Индикаторы укреплены на раме 10, которая при помощи болтов крепится к основанию и траверсе, по пять рядов с каждой стороны.

Для исключения влияния усилий нажатия пружин индикаторов на пластину, индикаторы ставились с каждой стороны пластины друг против друга. Отсчеты прогибов снимались непосредственно со шкал индикаторов.

Образцы для экспериментов готовились из алюминиевого сплава Д16Т в стадии поставки следующих толщин: 1,0, 0,6, 0,4 и 0,3 мм. По разметке на настольном сверлильном станке сверлились отверстия на 0,1 мм меньше необходимого диаметра, а до окончательного размера отверстия доводились при помощи надфиля. В установке лист фиксировался при помощи винтовых фиксаторов.

При проведении экспериментов использовались следующие предпосылки и допущения:

а) раздача заклепочных отверстий в процессе клепки происходит в пределах от 6 до 15%. Эти данные хорошо совпадают также с экспериментальными данными Д. Н. Лысенко и В. Ф. Багрий. Раздача заклепочных отверстий производилась только по нижнему и верхнему пределам;

б) проверялась раздача отверстий под заклепки диаметром в 2,6, 3,0, 4,0, 5,0 и 6,0 мм;

в) раздача заклепочного отверстия происходит во всех направлениях равномерно и на одинаковую величину;

г) исследуется раздача только в одном направлении, в направлении «к соседнему элементу каркаса»;

д) для компенсации раздачи по направлению «к соседней заклепке» величина раздачи заклепочного отверстия по направлению «к соседнему элементу каркаса» увеличена до средней величины раздачи заклепочного отверстия соответствующего диаметра;

е) влияние раздачи заклепочного отверстия на гладкость обшивки между двумя соседними заклепками не исследовалось так как этот вопрос в достаточной степени исследован;

ж) проверялась обшивка толщиной в 1,0, 0,6, 0,4 и 0,3 мм из алюминиевого сплава Д16Т в стадии поставки.

## § 2. Влияние раздачи заклепочных отверстий на гладкость обшивки между элементами каркаса и характер распределения выпучин

Для изучения характера и величины возникающих выпучин в процессе клепки был взят образец из алюминиевого сплава Д16АТВ, толщиной в 1,0 мм размером 420×420 мм. Такая толщина обшивки взята не случайно, ибо она является наиболее распространенной для обшивки всех агрегатов самолета в большей или меньшей степени. На образце проверялась клепка заклепок следующих диаметров: 2,6, 3,0, 4,0, 5,0 и 6,0 мм. Клепка производилась по нижнему 6-процентному пределу раздачи заклепочного отверстия и верхнему — 15-процентному.

Для проверки сопоставимости результатов все эксперименты были проведены на трех разных образцах, вырезанных из разных листов алюминиевого сплава Д16Т толщиной в 1,0 мм в стадии поставки. Повторные эксперименты дали одинаковые величины прогибов, отличие которых не выходило за точность их замера, расположенные в одних и тех же местах. Таким образом, сопоставимость замеров величины прогибов и характер их распределения были получены в пределах точности замера, что является вполне допустимым.

Эксперименты показали следующее:

1. Выпучины клетки обшивки носят несимметричный характер. Такое отступление от привычных, теоретических форм прогибов пластин не является случайным и неожиданным. Ибо, как показали исследования [2], выпучины носят самый причудливый вид по конфигурации с одной стороны, а с другой — располагаются в самых неожиданных местах панели. Но самым главным является то, что приклепанную обшивку нельзя отнести ни к пластине с защемленными кромками, ни к пластине со свободно-опертыми кромками и находящимися под воздействием сил, лежащих в срединной плоскости. Все это накладывает свой отпечаток на характер размещения и форму выпучин.

2. Выпучины располагаются по углам клетки обшивки.

3. Выпучины возрастают с увеличением диаметра заклепки и в процессе клепки могут менять знак кривизны.

4. Конфигурация выпучин не зависит от диаметра заклепки.

5. Обшивка выпучивается в виде нескольких полуволн.

6. Наименьшие величины прогибов располагаются по осям симметрии клетки обшивки.

7. Процесс нарастания прогибов, с увеличением диаметра заклепки, подчиняется почти прямолинейному закону.

8. Раздача заклепочных отверстий происходит за счет их пластического деформирования.

9. Хлопунов на обшивке толщиной в 1,0 мм. даже при клепке 6,0 миллиметровыми заклепками не наблюдается.

Результаты экспериментов представлены на рис. 2. Характер распределения выпучин представлен на рис. 3.

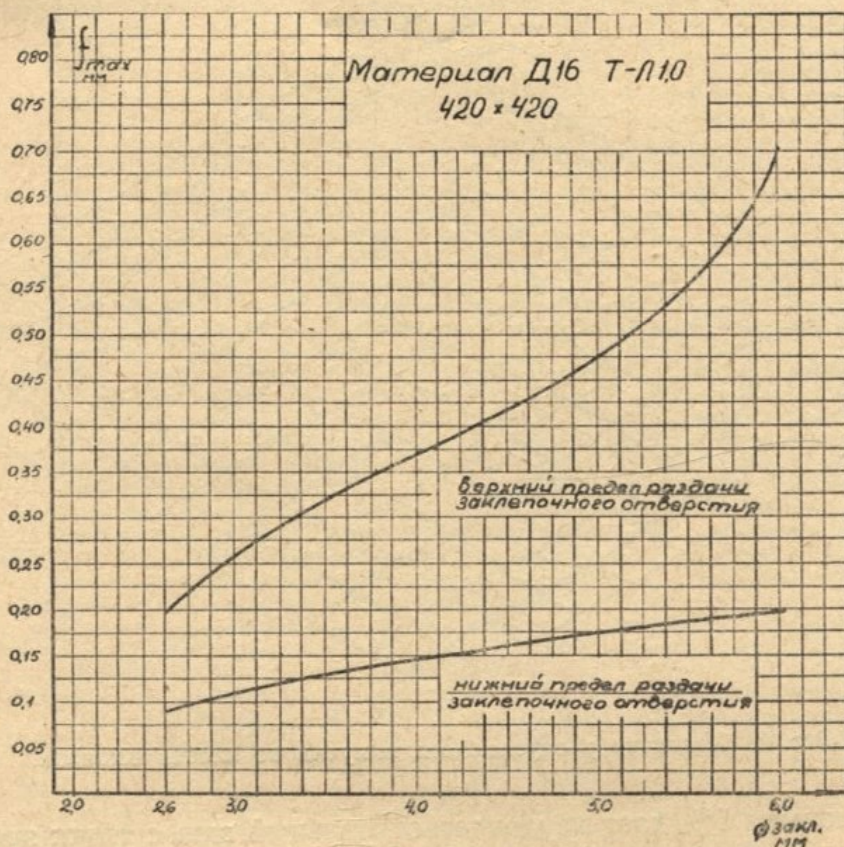


Рис. 2. Зависимость максимальной величины прогиба от диаметра заклепки.

Эксперименты показали, что клепка обшивки толщиной в 1,0 мм заклепками  $\varnothing$  2,6, 3,0, 4,0 и 5,0 мм не дает прогибов по величине больше половины толщины обшивки, что по техническим условиям может быть приемлемо для отдельных агрегатов как нескоростных, так и скоростных самолетов. Так как раздача заклепок не вызывает появления хлопуна, то сама клепка не может быть причиной возникновения их на обшивке толщиной в 1,0 мм.

Точно так же были произведены эксперименты на пластинах размером 420 × 420 мм, из алюминиевого сплава Д16Т, толщинами в 0,6, 0,4 и 0,3 мм.

При клепке образцы толщиной в 0,6 и 0,4 мм ведут себя точно так, как и образцы толщиной в 1,0 мм. Поэтому все сказанное по отношению к образцам толщиной в 1,0 мм целиком относится и к образцам вышеуказанных толщин.

Отличие же состоит в том, что с уменьшением толщины образца он делается как бы более чувствительным к прогибам из-за своей меньшей жесткости, пластическая деформация заклепочных отверстий происходит как за счет раздачи, так и за счет отгиба кромок, и самое главное постановка заклепок  $\varnothing$  2,6 мм даже при 6% расклепе уже дает хлопуна.

Хлопуны на обшивке толщиной 0,6 мм появляются в каком-нибудь углу клетки, а по мере увеличения диаметра заклепки, а значит и роста стрелы прогиба, он перемещается к центру клетки обшивки, и вся клетка начинает хлопнуть.

Точно так же ведет себя и обшивка толщиной в 0,4 мм.

Обшивки толщиной в 0,6 и 0,4 мм в основном клепаются заклепками  $\varnothing$  2,6 мм и изредка 3,0 мм, которые дают хлопун при шестипроцентном расклепе заклепочного отверстия. Как показали исследования, расклеп

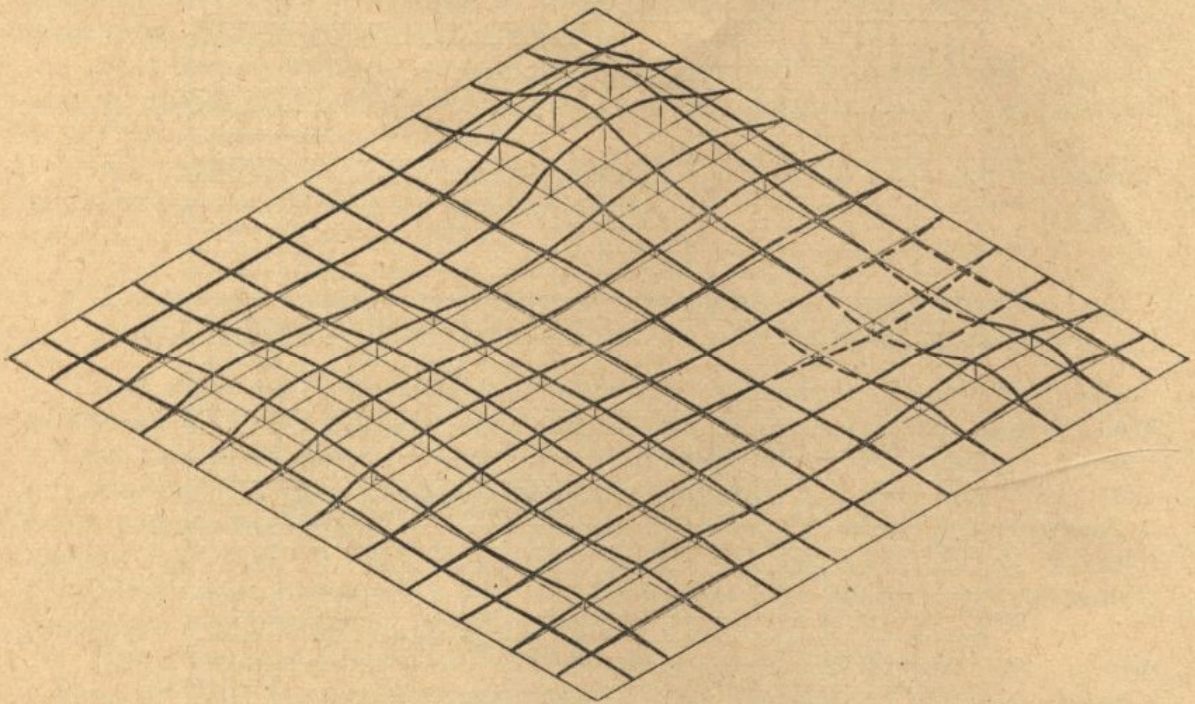


Рис. 3. Характер распределения выпучин по клетке обшивки.

заклепок меньше 5% дает неудовлетворительный шов с точки зрения его прочности, переклеп также дает неудовлетворительный шов в смысле ухудшения качества поверхности и необеспечения необходимой высоты замыкающих головок. Наиболее приемлемым является пятипроцентный расклеп заклепок и с точки зрения качества поверхности, и прочности, и герметичности, и вибропрочности шва. Поэтому на рис. 4. представлены зависимости между величиной прогиба и диаметром заклепки только для шестипроцентного расклепа заклепочного отверстия.

Но такой расклеп уже дает хлопуну на обшивке толщиной в 0,6 и 0,4 мм. Поэтому сам процесс клепки в данном случае является источником появления хлопуну, вне зависимости от квалификации клепальщика. Неудобные подходы, переклеп, перекос, плохая подгонка каркаса еще больше будут влиять на качество поверхности и еще быстрее будут вызывать появление хлопуну. Отсюда клепка тонких обшивок требует вполне определенных профилактических мероприятий для ликвидации возможности появления хлопуну.

Следующим этапом было исследование обшивки из алюминиевого сплава Д16Т, но размерами в 420×210 мм.

Образец 420×210 мм толщиной в 1,0 мм клепался заклепками диаметрами 2,6, 3,0, 4,0, 5,0 и 6,0 мм при таких же условиях, как и предыдущие образцы.

Эксперименты показали следующее:

1. Выпучины обшивки носят несимметричный характер.

2. Большие стрелы прогиба наблюдаются в углах клетки обшивки, которые по мере увеличения диаметра заклепки растут более интенсивно в углах, а потом перемещаются к осям симметрии пластины.

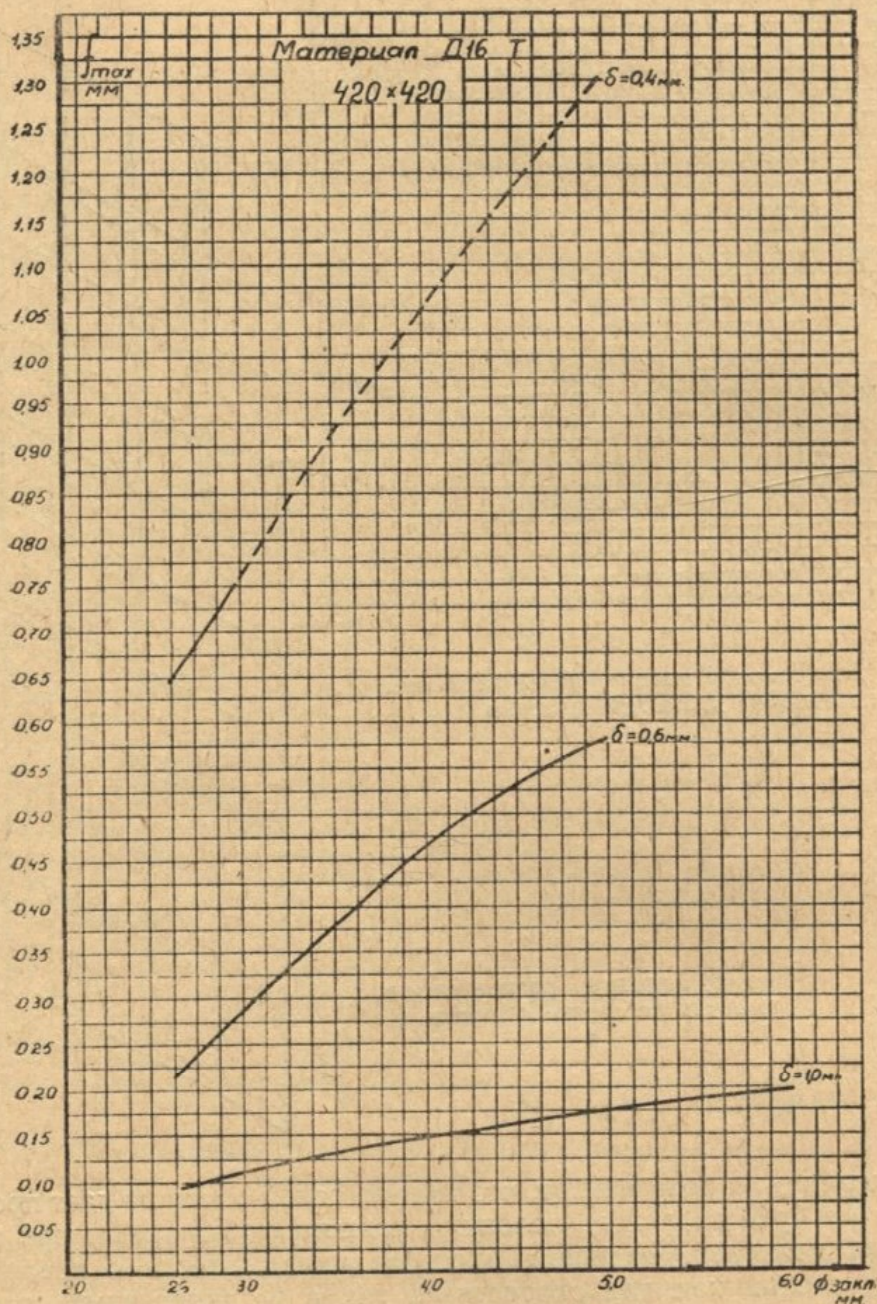


Рис. 4. Зависимость максимальной величины прогиба от диаметра заклепки для разных толщин листового дюрала.

3. Пластина выпучивается в виде нескольких несимметричных полу-волн как вдоль, так и поперек.

4. При любом из проверенных диаметров заклепки максимальная стрела прогиба находится в одном из углов пластины.

5. Нарастание прогибов подчиняется почти прямолинейному закону.

6. Хлопуны на обшивке толщиной в 1,0 мм даже при клепке 6,0 мм заклепками не появляются, хотя клетка и получает значительные прогибы.

Результаты экспериментов представлены на рис. 5, а характер распределения выпучин — на рис. 6.

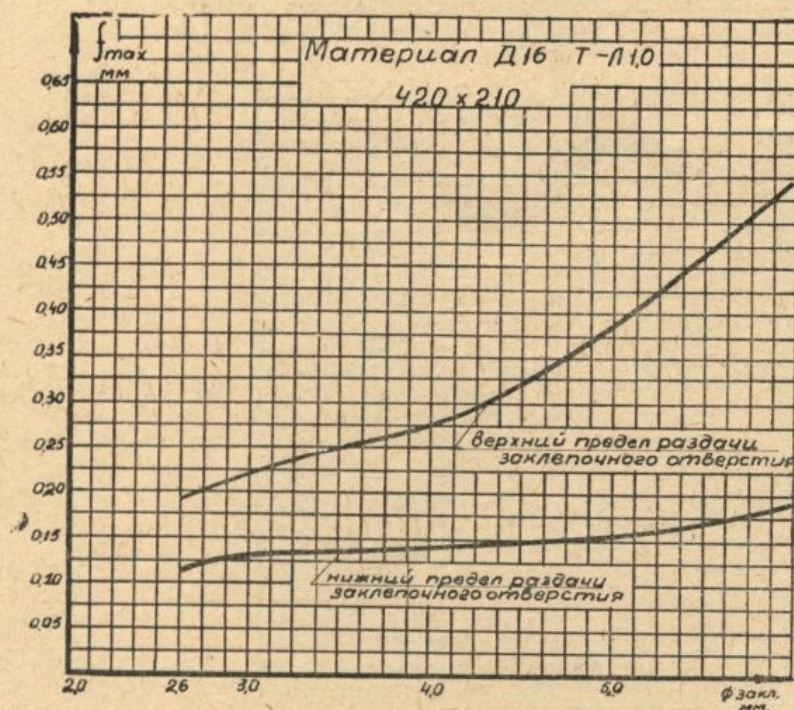


Рис. 5. Зависимость максимальной величины прогиба от диаметра заклепки.

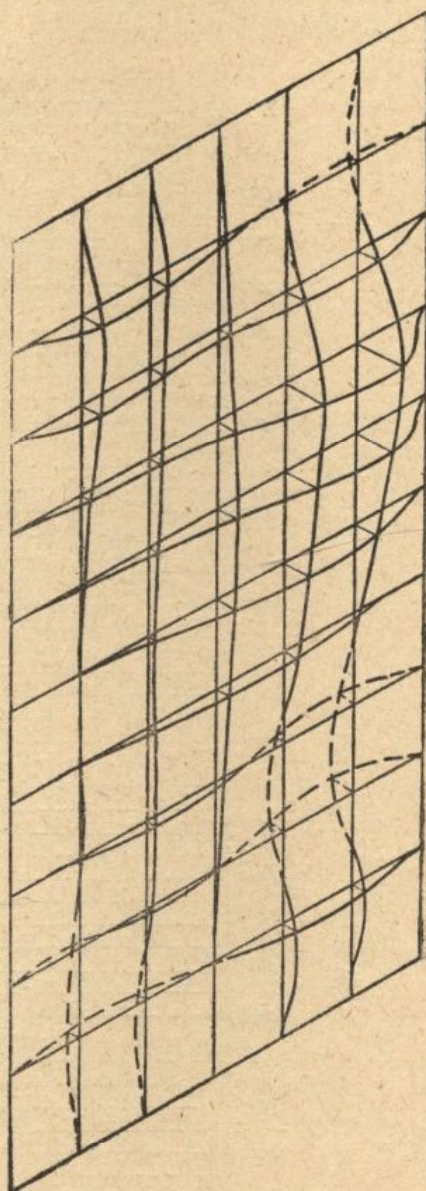


Рис. 6. Характер распределения выпучин по клетке обшивки.

Эксперименты показывают, что клепка такой обшивки дает прогибы, в основном не превосходящие половины толщины обшивки, и при этом не получается хлопунгов. Величина прогибов укладывается в пределы технических условий как для скоростных, так и не скоростных самолетов.

При исследовании клепки таких же образцов, но толщинами в 0,6, 0,4 и 0,3 мм установлено, что их поведение ничем не отличается от предыдущего образца, только прогибы значительно возрастают с уменьшением толщины обшивки. Это хорошо иллюстрирует рис. 7.

Поведение тонких обшивок обладает еще одной особенностью, которой не наблюдается в обшивке толщиной 1,0 мм, а именно, выпучиваться обшивка начинает не только в углах, а и по всей срединной поверхности с явным преимуществом по осям симметрии клетки обшивки.

Хлопуны на обшивке толщиной 0,6 мм при постановке заклепок  $\varnothing 2,6$  и 3,0 мм появляются очень редко, хотя пластина получает значи-



гельные прогибы под воздействием поперечных сил. На обшивках же толщиной в 0,4 и 0,3 мм хлопуну появляются уже при постановке заклепок  $\varnothing 2,6$  мм.

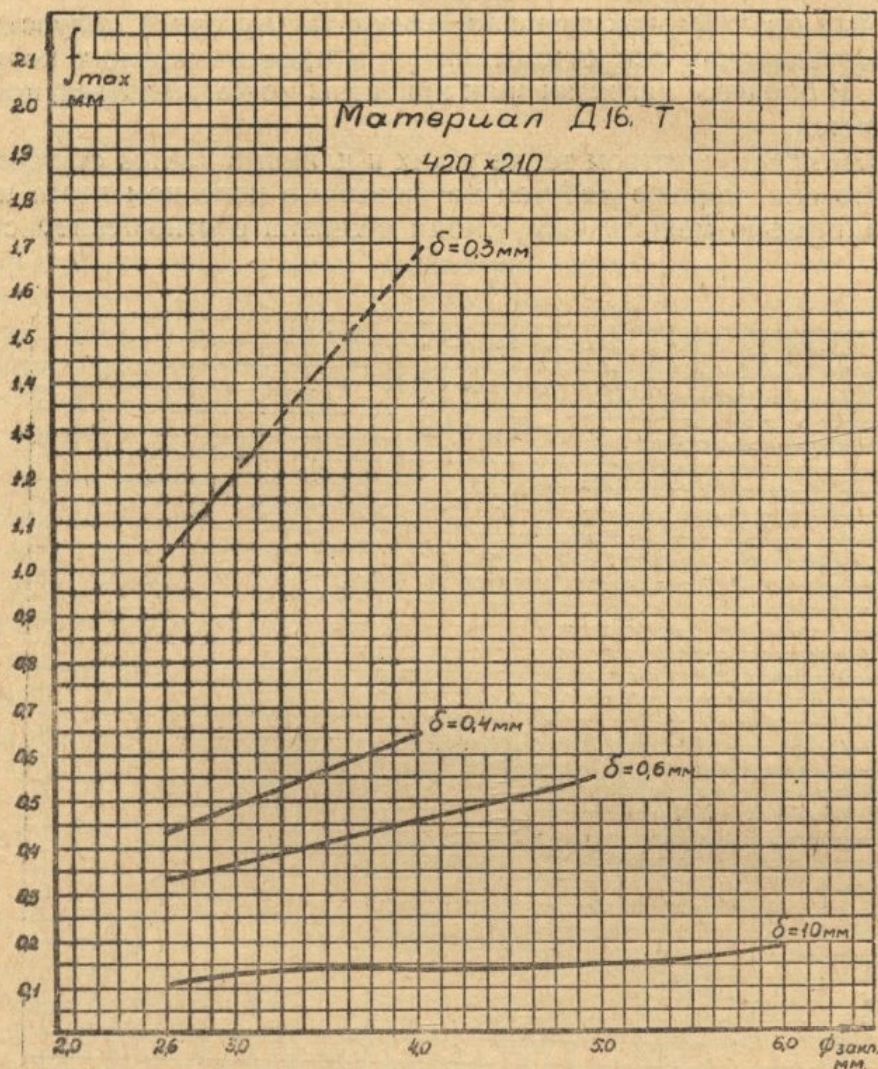


рис. 7. Зависимость максимальной величины прогиба от диаметра заклепки для разных толщин листового дюрала.

Таким образом, причиной хлопуну на обшивке толщиной в 0,6 мм процесс клепки может и не быть при данных размерах клетки. Если же при клепке такой обшивки появляются хлопуну, то они вызваны либо плохой подготовкой каркаса, либо явным нарушением технологического процесса. Хлопуну на обшивке толщиной в 0,4 и 0,3 мм вызываються самим процессом клепки, т. е. раздачей заклепочных отверстий. Интересно отметить, что хлопуну появляются возле заклепочного шва длинного края клетки обшивки. По мере увеличения диаметра заклепки хлопун сжимается по длине, зато перемещается к центру пластины: дальнейшее же увеличение диаметра заклепки вызывает появление хлопуну в нескольких местах клетки обшивки без явного преимущества середины клетки над ее углами.

Заключительным этапом этой серии испытаний были эксперименты, проведенные на образцах из алюминиевого сплава Д16Т размером  $420 \times 42$  мм и толщинами 1,0, 0,6, 0,4 и 0,3 мм.

Поведение таких образцов резко отличается от предыдущих, так как вследствие небольшой ширины по сравнению с длиной и преобладающего влияния раздачи заклепочных отверстий по длинным сторонам пластины образцы работают на сжатие значительно лучше предыдущих и не теряют устойчивости даже при постановке заклепок  $\varnothing 6,0$  мм при верхнем пределе раздачи заклепочного отверстия.

По ширине прогибы, как правило, имеют форму одной полуволны, а вдоль, по вертикальной оси симметрии — в виде нескольких полуволн (чаще двух). В процессе нагрузки знак кривизны может меняться, но иногда и не меняется.

Основным преимуществом таких узких и длинных клеток обшивки является то, что они, хорошо работая на сжатие, в конечном итоге имеют прогибы значительно меньше, чем клетки обшивки с отношением сторон 1.0 и 0.5.

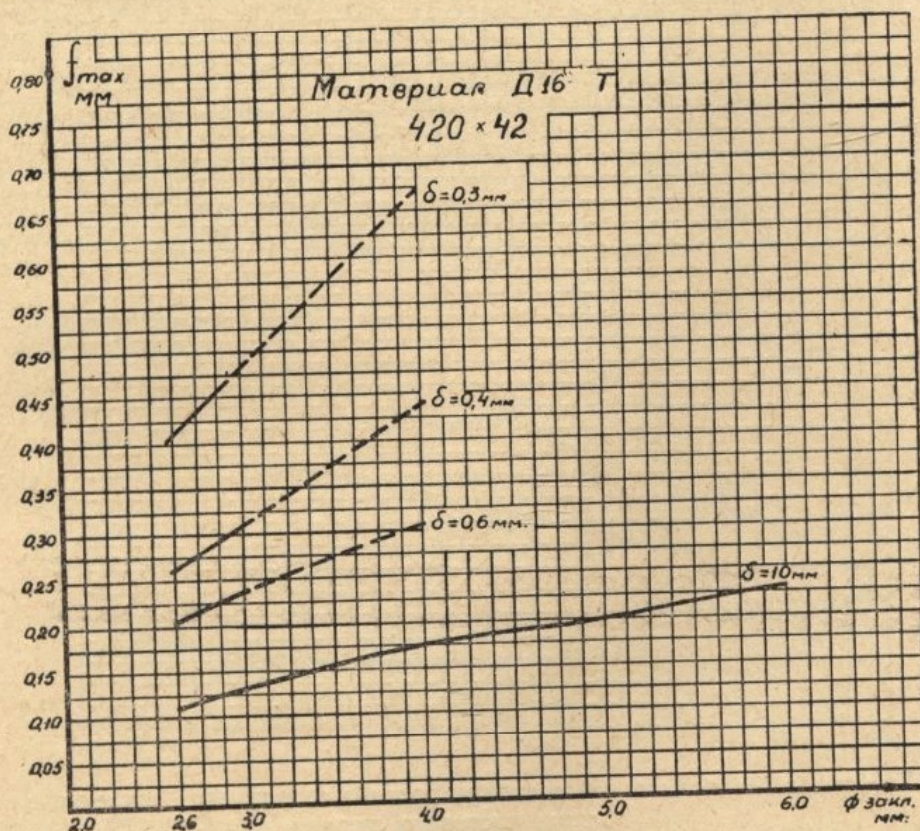


Рис. 8. Зависимость максимальной величины прогиба от диаметра заклепки для разных толщин листового дюрала.

Хлопунов на таких образцах не наблюдается. Результаты экспериментов представлены на рис. 8, где показаны зависимости между величиной прогибов и диаметром заклепки для различных толщин материалов.

### § 3. Определение необходимой степени предварительного натяжения тонких обшивок

Ранее был рассмотрен вопрос о том, каковы получаются выпуклости обшивки в зависимости от размеров клетки, ее толщины и диаметра заклепки.

Как видно по результатам экспериментов, представленных на рис. 2—8, максимальная стрела прогиба в одних обшивках укладывается

в пределы технических условий и не дает хлопун, другие же толщины (0,6, 0,4, 0,3 мм) дают значительные прогибы, в несколько раз превышающие толщину и почти всегда дают хлопун. Следовательно, уже сам процесс клепки вне зависимости от ее способа, качества каркаса и квалификации клепальщика при определенных размерах клетки и толщины обшивки уже может дать хлопун.

Для предотвращения возможности появления хлопун в настоящее время при клепке тонких обшивок рекомендуются следующие профилактические мероприятия:

- а) клепка тонких обшивок с термическим натягом и
- б) клепка тонких обшивок с механическим натягом.

Оба эти способа в большей или меньшей степени освещены и рекомендованы как в специальной литературе по клепке [3], так и в различных технических условиях, методических руководствах и руководящих технических материалах. Поэтому здесь их техническое исполнение не будет разбираться, а только будет разобран вопрос о том, какие получаются напряжения в обшивке при ее клепке с термическим натягом, какие рекомендуются напряжения при механическом натяге и что это дает.

Если применяется предварительный нагрев тем или иным способом дюралевой обшивки перед клепкой, то он может быть не больше  $100^\circ$  из-за опасности наступления интеркристаллитной коррозии и как следствие — быстрого разрушения обшивки. Поэтому и рекомендуют перед клепкой обшивку нагревать до  $(80 \div 90)^\circ$ .

Посмотрим, какие возникают напряжения в остывшей приклепанной обшивке, если она перед клепкой была нагрета до  $90^\circ$ . Приняв, что температура производственного помещения равняется  $15^\circ$ , модуль упругости для дюрала  $E = 7200 \text{ кг/мм}^2$  и коэффициент линейного расширения дюрала

$$\alpha = 22 \cdot 10^{-6}, \text{ получим } l_t = l_0 t + \alpha l_0 (t_2 - t_1), \Delta l_t = l_t - l_0, \varepsilon_t = \frac{\Delta l_t}{l_0} :$$

тогда  $\sigma_t = \alpha t$ , где  $t = t_2 - t_1$ ,  $t_2 = 90^\circ$ ,  $t_1 = 15^\circ$ .

Тогда  $\sigma_t = \varepsilon_t E$  или  $\sigma_t = \alpha t E$ . Подставив значения  $\alpha$ ,  $t$  и  $E$ , получим, что напряжения  $\sigma = 11,9 \text{ кг/мм}^2$ . Даже если принять во внимание, что лист нагревается неравномерно, что каркас во время охлаждения обшивки деформируется, то и тогда в обшивке будут весьма солидные напряжения, достигающие нескольких килограмм.

С другой стороны, производственные инструкции по клепке обшивок, рекомендуя способ механического натяжения обшивки, не оговаривают до какой величины предварительных напряжений необходимо натягивать обшивку. Некоторые, рекомендуя этот же способ механического натяжения, предлагают давать натяжения до  $(0,15 - 0,2) \text{ кг/мм}^2$ , не указывая, для каких толщин обшивок, а тем более диаметров заклепок, какое давать предварительное натяжение.

Из сопоставления напряжений термических и механических видно, что они колеблются в довольно широком диапазоне. Поэтому для определения необходимой степени натяга обшивки был избран путь, учитывающий размер клетки, ее (обшивки) толщину и диаметр заклепки с одной стороны, а с другой — получить необходимую степень натяга, исходя из величины критических напряжений пластины, с учетом ее размеров и толщин. Но так как теоретически не всегда возможно определить критические напряжения для разнобоких пластин с заделанными кромками и сжатыми со

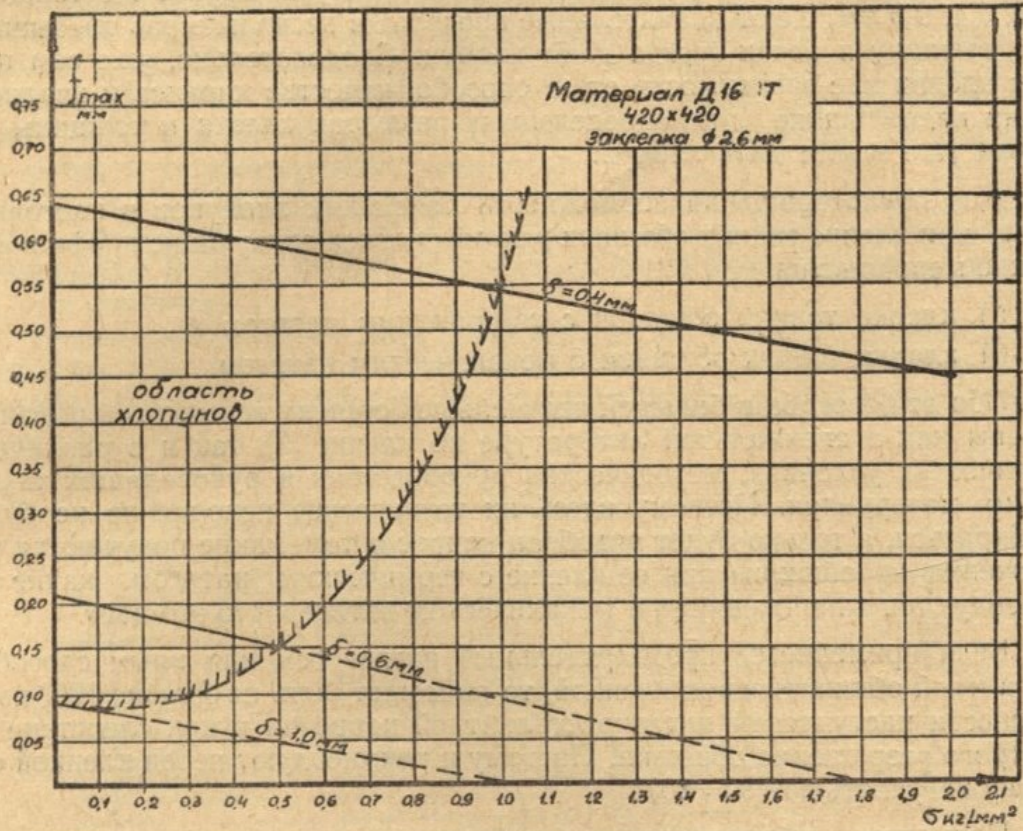


Рис. 9. Зависимость максимальной стрелы прогиба от предварительного натяжения листа.

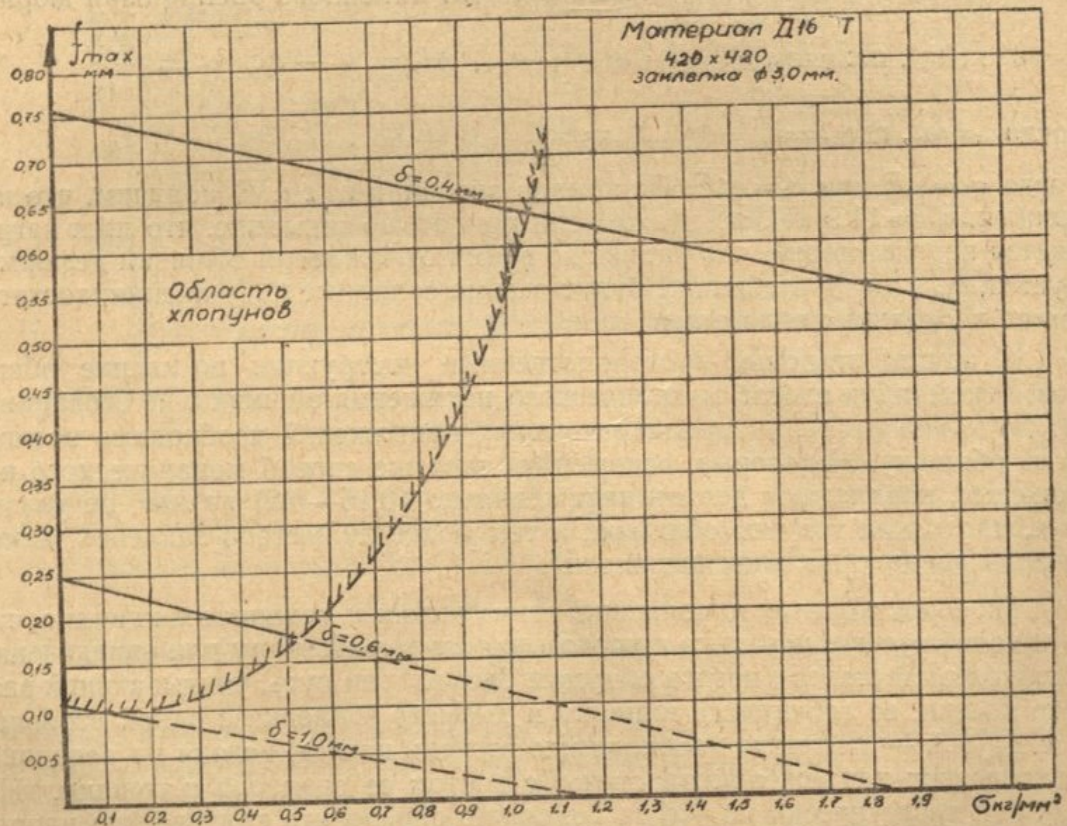


Рис. 10. Зависимость максимальной стрелы прогиба от предварительного натяжения листа.

всех сторон равномерно распределенными нагрузками, то за отправные, первоначальные, брались критические напряжения только для квадратной пластины с равномерно распределенной сжимающей нагрузкой по всем сторонам и с заделанными кромками.

Для определения степени предварительного натяга брались образцы такие же, как и для предыдущих исследований, из алюминиевого сплава Д16Т, размером  $420 \times 420$  мм и толщинами в 1,0, 0,6 и 0,3 мм.

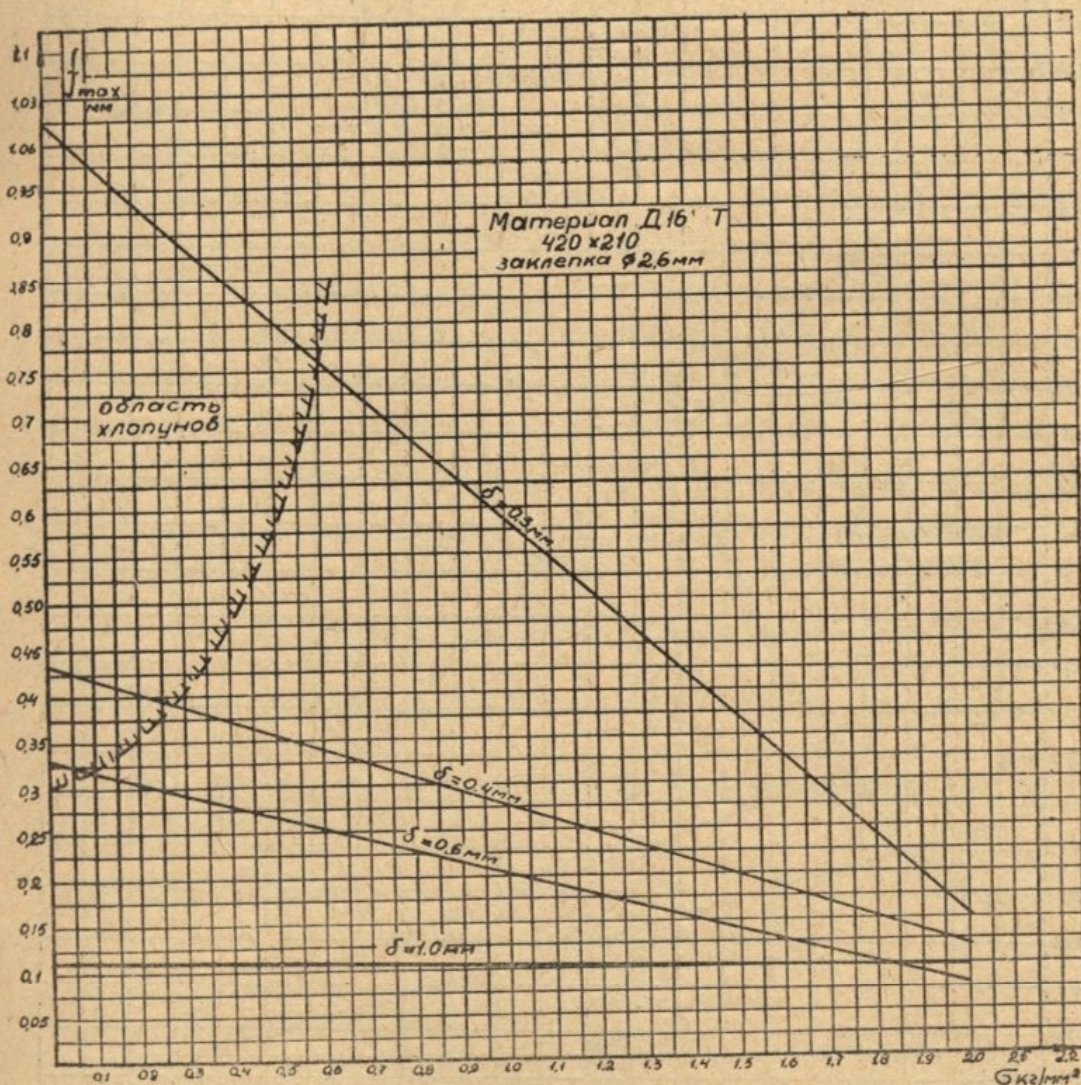


Рис. 11. Зависимость максимальной стрелы прогиба от предварительного натяжения листа.

В результате экспериментов были построены графики, представленные на рис. 9 и 10, где показаны зависимости между величиной прогиба и предварительным натяжением обшивки. Там же показаны области, где возможно появление хлопнунов.

Предварительное натяжение обшивки, с одной стороны, значительно уменьшает величину прогибов, а с другой — при определенной степени натяга предотвращает возникновение хлопнунов.

Пользуясь графиками (рис. 9 и 10), можно для каждой из толщин обшивки выбрать необходимую степень натяга и тем самым гарантировать себя от возможности появления хлопнунов или значительно уменьшить величину прогибов, возникающих при клепке.

Небезинтересно отметить, что предварительно натянутые пластины при клепке ведут себя иначе, чем без натяжения — количество полуволн резко уменьшается и величины прогибов носят более равномерный характер, т. е. вся срединная поверхность начинает прогибаться в ту или иную сторону.

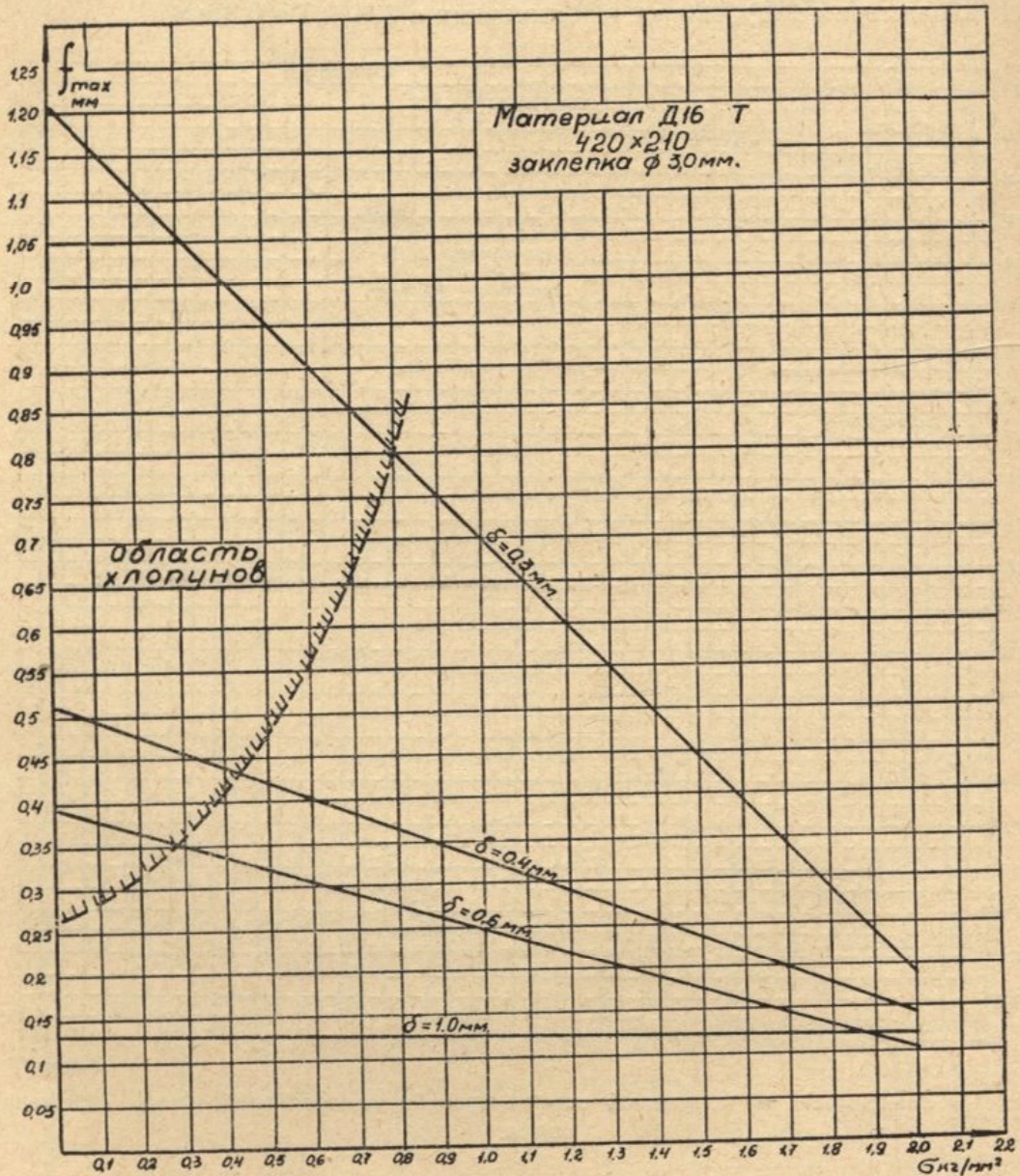


Рис. 12. Зависимость максимальной стрелы прогиба от предварительного натяжения листа.

Как видно из графиков (рис. 9 и 10), линии, характеризующие зависимость между величиной прогиба и диаметром заклепки с учетом предварительного натяжения, являются прямыми. Поэтому для определения возможных максимальных прогибов при определенном диаметре заклепок при клепке обшивок промежуточных толщин (например, 0,8 и 0,5 мм) можно пользоваться этими же графиками, применив интерполяцию.

Точно таким же образом были проведены испытания для образцов из алюминиевого сплава Д16Т размерами 420×210 мм и 420×42 мм и толщинами 1,0, 0,6, 0,4 и 0,3 мм, с предварительным натяжением от 0,15 до 2,0 кг/мм<sup>2</sup>. Исследования показали, что предварительное натяжение умень-

шает величину прогиба (особенно у обшивок толщиной 0,6, 0,4 и 0,3 мм) и исключает возможность появления хлопун. Из графиков (рис. 11 и 12, 13 и 14), представляющих собой прямые линии, можно определить предварительную степень натяжения и тем самым значительно уменьшить величину прогибов с одной стороны, а с другой — клепать обшивку без хлопун.

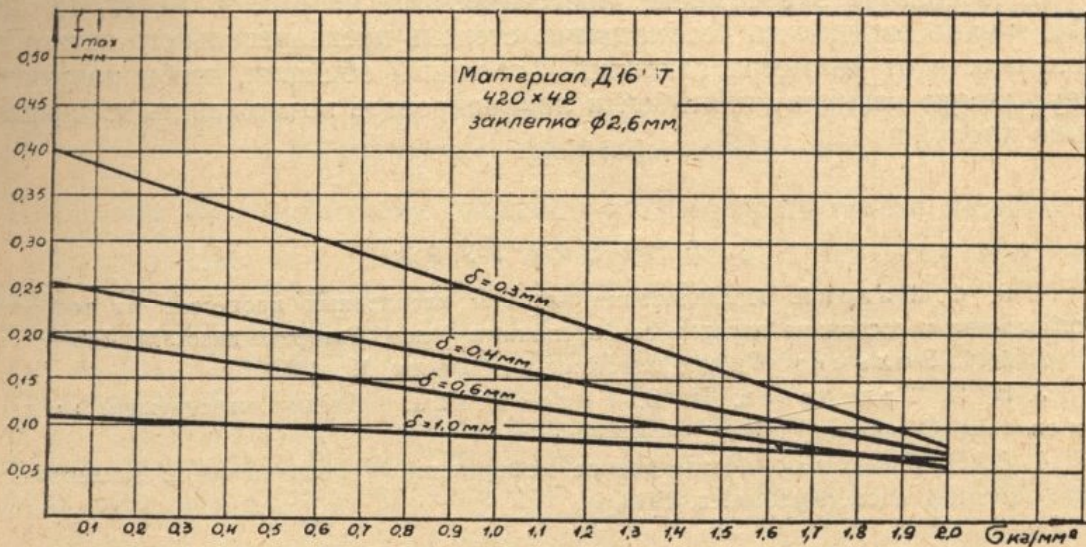


Рис. 13. Зависимость максимальной стрелы прогиба от предварительного натяжения листа.

В результате проделанных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Тонкие обшивки (толщиной от 0,8 до 0,3 мм) при клепке, как правило, дают хлопун.
2. Чем больше размеры клетки обшивки, тем вероятность возникновения хлопунов больше.

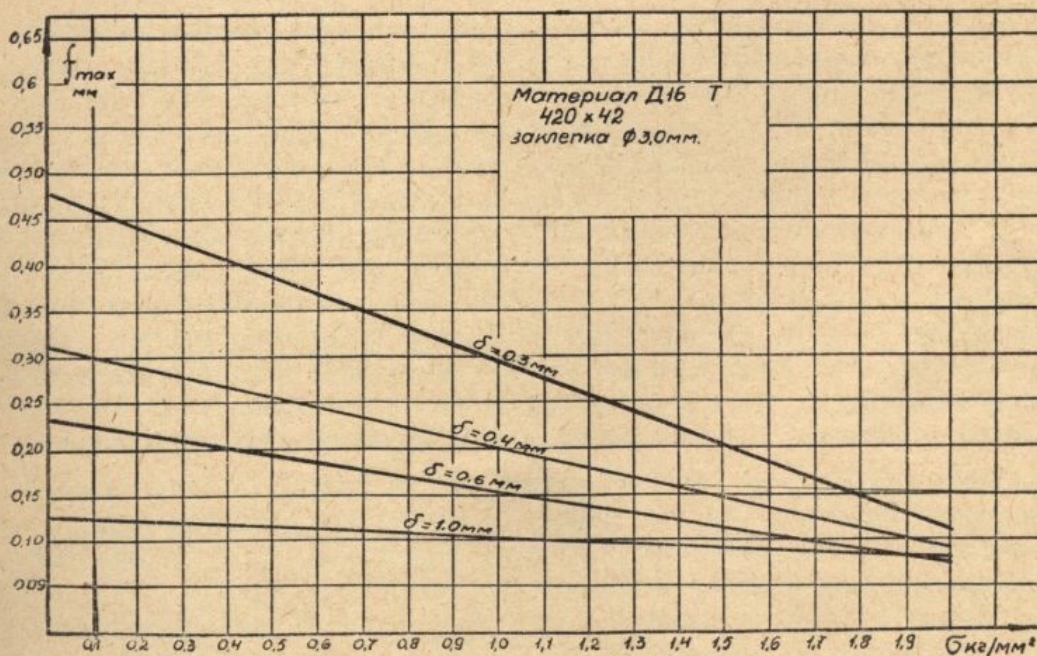


Рис. 14. Зависимость максимальной стрелы прогиба от предварительного натяжения листа.

3. Узкие и длинные клетки тонких обшивок менее восприимчивы к возникновению хлопунгов. Поэтому целесообразно проектировать каркас конструкции под тонкие обшивки соответствующим образом.

4. Используя зависимости, представленные на рис. 4, 7, 8, можно определить возможные величины прогибов тонких обшивок в зависимости от диаметра заклепки.

5. Используя зависимости, представленные на рис. 9, 10, 11, 12, 13 и 14, можно определить необходимую степень предварительного натяга в зависимости от диаметра заклепки и толщины обшивки, чтобы получить допускаемую величину прогибов и ликвидировать возможность возникновения хлопунгов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ф. Багрий. Исследование влияния клепальных процессов на точность производства и состояние поверхности клепанных узлов. Автореф. дисс., М., 1950.
2. А. С. Вольмир. Гибкие пластины и оболочки. М., 1956.
3. В. П. Григорьев, П. Б. Голдовский. Клепка конструкций из легких сплавов. Оборонгиз, 1954.
4. Д. Н. Лысенко. Исследование деформаций и напряжений в заклепочных швах. Автореф. дисс., Куйбышев, 1948.