

## **Разработка прогрессивной потайной заклепки с коническим компенсатором для выполнения соединений силовых элементов крыла**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,  
ГП АНТК им. О.К. Антонова*

Заклёпочные соединения силовых элементов самолётных конструкций являются одними из конструктивных нерегулярностей планера, ответственными за обеспечение его прочности, ресурса, живучести, герметичности, коррозионной стойкости и качества внешней поверхности.

Снижение качества внешней поверхности самолета способствует увеличению аэродинамического сопротивления самолета, из-за чего существенно увеличивается расход авиатоплива [8]. В условиях уменьшения мировых запасов нефти и роста цен на нефтепродукты топливная эффективность становится одним из основных показателей, определяющих облик перспективных самолетов, а также их совершенство и конкурентоспособность. Специалисты авиапромышленности предпринимают меры по повышению топливной эффективности, в том числе благодаря повышению качества внешней поверхности и местной аэродинамики.

Соединения элементов планера самолета транспортной категории, формирующие наружную, обтекаемую воздушным потоком поверхность, для обеспечения качества внешней поверхности (КВП) выполняют крепежными элементами с потайными закладными головками. Исследование состояния КВП гражданских самолетов показало, что технологические неровности планера, такие, как зазоры и уступы по стыкам обшивок, утяжка и вспучивание последних в зонах заклепочных швов, а также выступание и западание закладных головок крепежных элементов, увеличивают аэродинамическое лобовое сопротивление самолетов. Наличие в панелях потайных гнезд под закладные головки отрицательно влияет на усталостную долговечность и герметичность потайных заклепочных соединений крыла.

Состояние КВП и долговечность во многом будут определяться уровнем конструктивного совершенства применяемых потайных заклепок и технологии их постановки.

Для уменьшения отрицательного влияния потайных гнезд под закладные головки заклепок при сборке панелей крыла в свое время были разработаны и нашли применение потайные заклепки с компенсаторами, например заклепки по ОСТ 1 34052-85 (ЗУКК) [4]. При этом из-за неоптимальной формы закладных головок в целом и компенсаторов в частности известные заклепки при клепке по технологии согласно ПИ 249-78 [7] и разработанных на ее основе технологических инструкций не обеспечивают аэродинамическую гладкость обшивок в зонах заклепочных швов. Закладные головки применяемых потайных заклепок с компенсатором после клепки выступают над поверхностью на величину, значительно превышающую предельно допустимую техническими условиями на КВП и требуют дополнительных доводочных операций, заключающихся в удалении (зачистке) избыточного материала закладных головок.

Согласно техническим условиям на качество внешней поверхности самолета Ан-140 выступание закладных головок потайных заклепок в первой зоне не должно превышать 0,05 мм.

Результаты исследования состояния КВП планера самолета Ан в зонах заклепочных швов, выполненных заклепками по ОСТ 1 34052-85 [4], показаны на рис. 1 и 2.

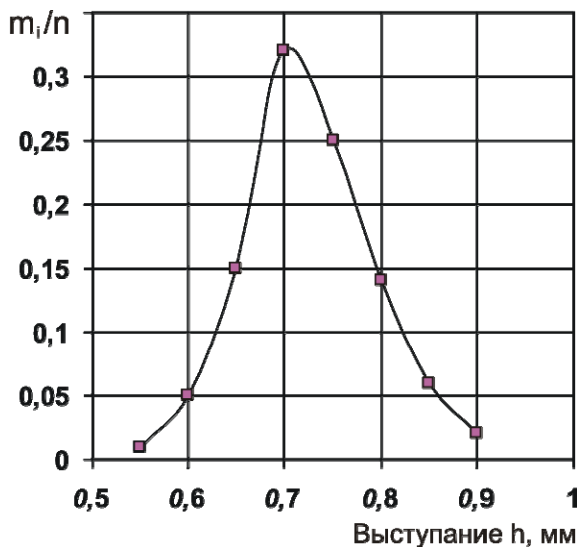


Рисунок 1 – Величина выступания закладных головок заклепок по ОСТ 1 34052-85 после клепки до фрезерования

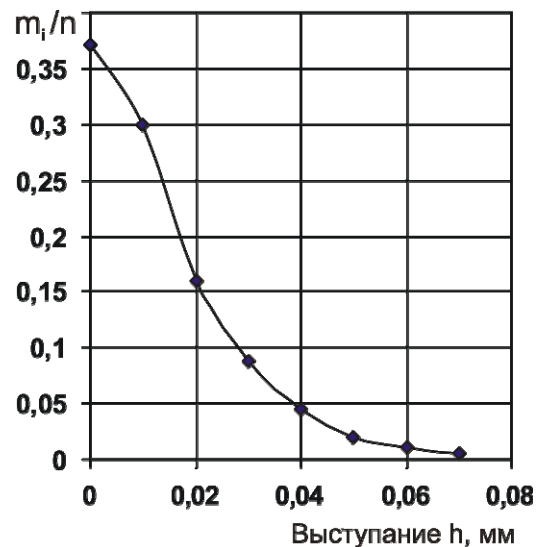


Рисунок 2 – Величина выступания закладных головок заклепок по ОСТ 1 34052-85 после фрезерования

Замеры выступания закладных головок заклепок после клепки до фрезерования были проведены на верхней панели крыла в области 8-го стрингера, 15-й – 18-й нервюр, после фрезерования – выборочно по всей поверхности крыла [3].

Анализ результатов измерений величин выступания закладных головок заклепок по ОСТ 1 34052-85 над поверхностью обшивки показал, что после клепки до фрезерования фактически реализуется высота выступания закладных головок заклепок от 0,55 до 0,9 мм, после фрезерования – от 0 до 0,07 мм. При этом высота выступания до 0,05 мм реализуется у 96% заклепок. Кроме того, после клепки и фрезерования закладных головок потайных заклепок наблюдаются такие технологические неровности внешней поверхности крыла, как зазоры и уступы по стыкам обшивок, утяжка и вспучивание последних в зонах заклепочных швов, а также нарушение защитного покрытия соединяемых элементов крыла.

Разработка и применение новых потайных заклепок с компенсатором из алюминиевых сплавов, обеспечивающих требуемое КВП крыла, позволяют повысить ресурс и герметичность клепаных соединений, снизить расход герметизирующих материалов и массу конструкции, повысить производительность труда, сократить цикл сборки, улучшить условия труда.

Целью данной работы является разработка прогрессивной потайной заклепки с нормальной высотой закладной головки и коническим компенсатором, предназначенной для выполнения потайных заклепочных соединений элементов крыла самолета, закладная головка которой не требует выполнения операции фрезерования после клепки.

Первоначальный облик проектируемой потайной заклепки с коническим компенсатором формируется путем добавления к “базовому телу” заклепки усеченного конуса, расположенного на торце закладной головки (рис. 3).

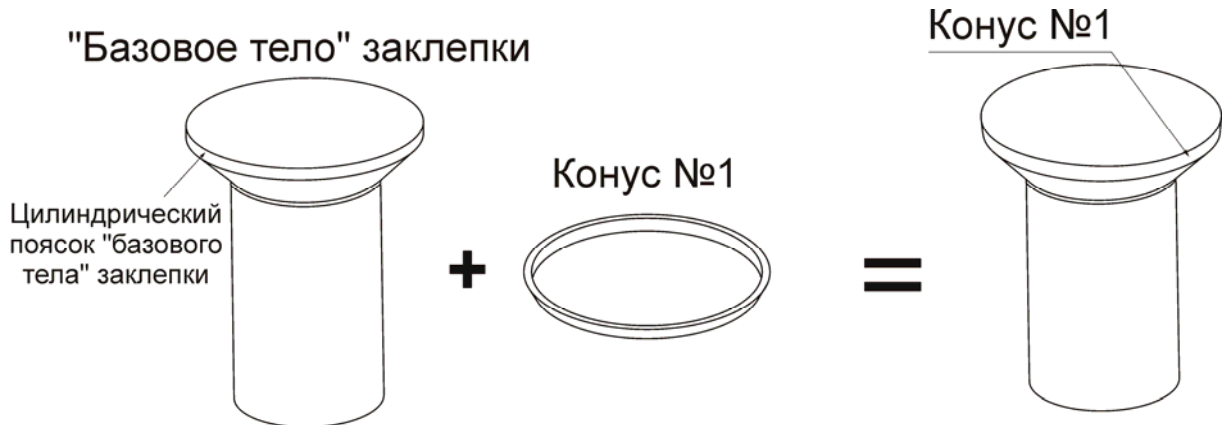


Рисунок 3 – Схема формирования облика разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором

“Базовое тело” разрабатываемой потайной заклепки формируется на основе контура гнезда под установку потайной заклепки с корончатым компенсатором ОСТ 1 34052-85 (согласно ТИ 36-21-86 [9]) с добавлением радиусного перехода  $R$  между закладной головкой и стержнем заклепки с номинальным диаметром  $d_{\text{закл}}$  (рис. 4). Длина “базового тела” заклепки  $L_{\text{закл}}$  подбирают согласно ОСТ 1 34102-80 [6] в зависимости от номинального диаметра заклепки и толщины пакета соединяемых деталей.

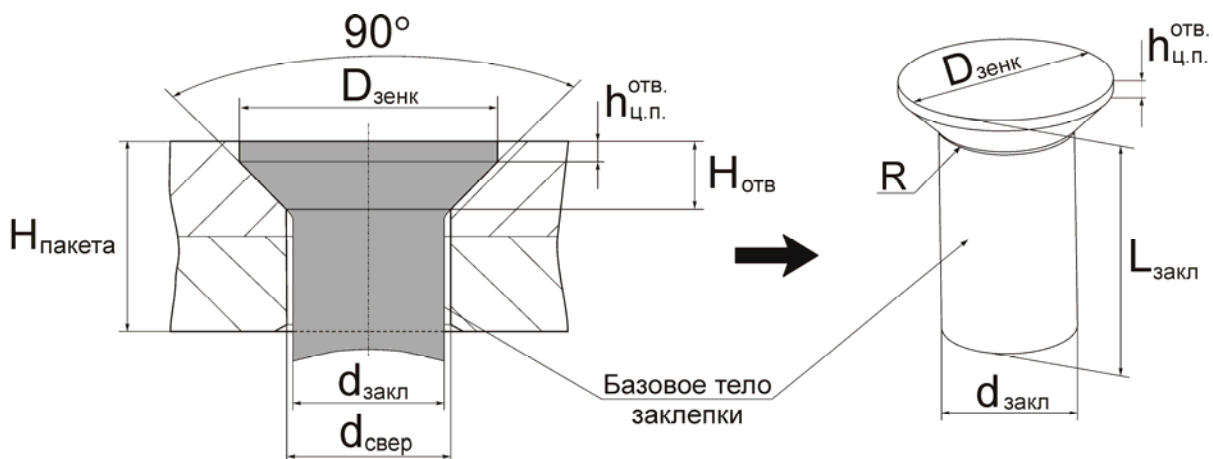


Рисунок 4 – Формирование облика базового тела разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором

Конус №1 добавляют к цилиндрическому пояску потайной головки “базового тела” заклепки для увеличения радиального натяга в зоне цилиндрического пояска зенкованной части гнезда под установку закладной головки потайной заклепки.

Эскиз и модель первоначального облика разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором показаны на рис. 5.

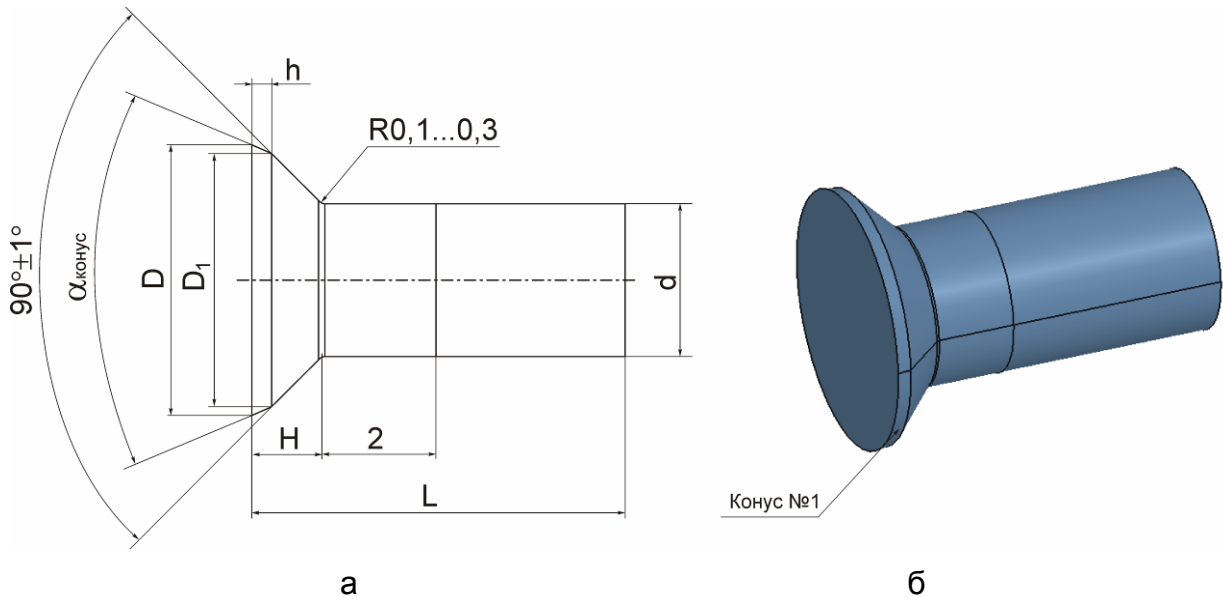


Рисунок 5 – Эскиз (а) и модель (б) разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором

Разрабатываемую потайную заклепку с коническим компенсатором устанавливают в потайное гнездо (рис. 6), аналогичное установочному гнезду потайной заклепки ОСТ 1 34052-85 согласно ТИ 36-21-86 [9].

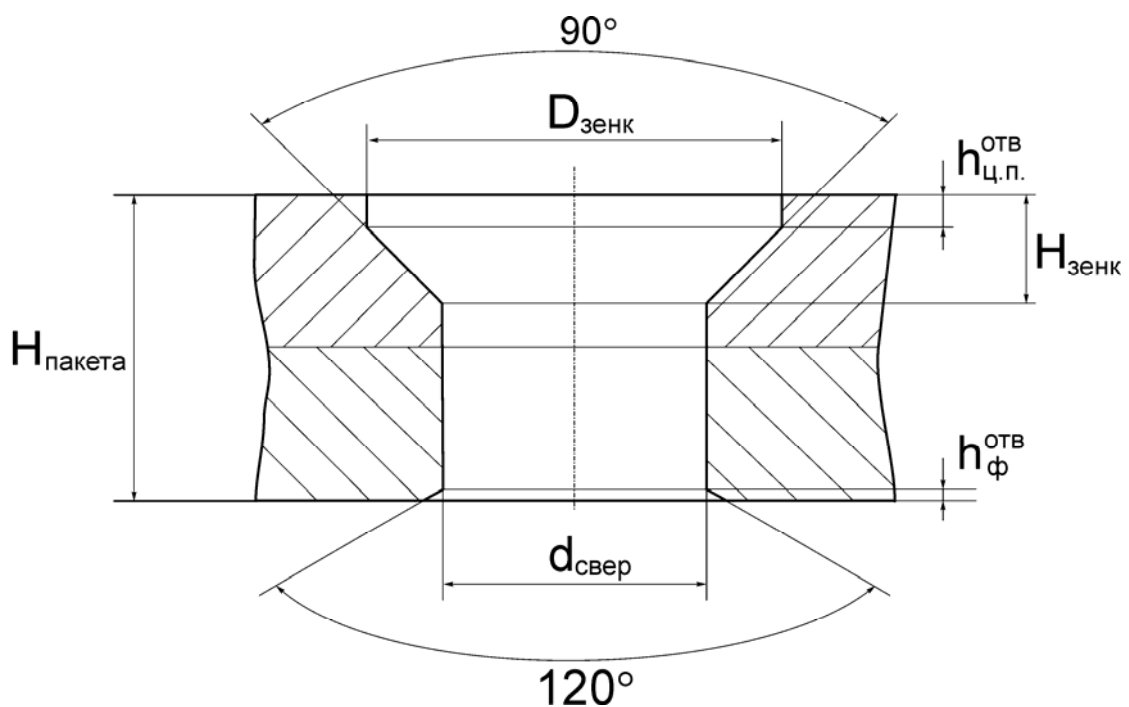


Рисунок 6 – Геометрические параметры гнезда под установку проектируемой потайной заклепки с коническим компенсатором

Соотношения геометрических параметров проектируемой потайной заклепки с коническим компенсатором и параметров установочного гнезда показаны на рис. 7.

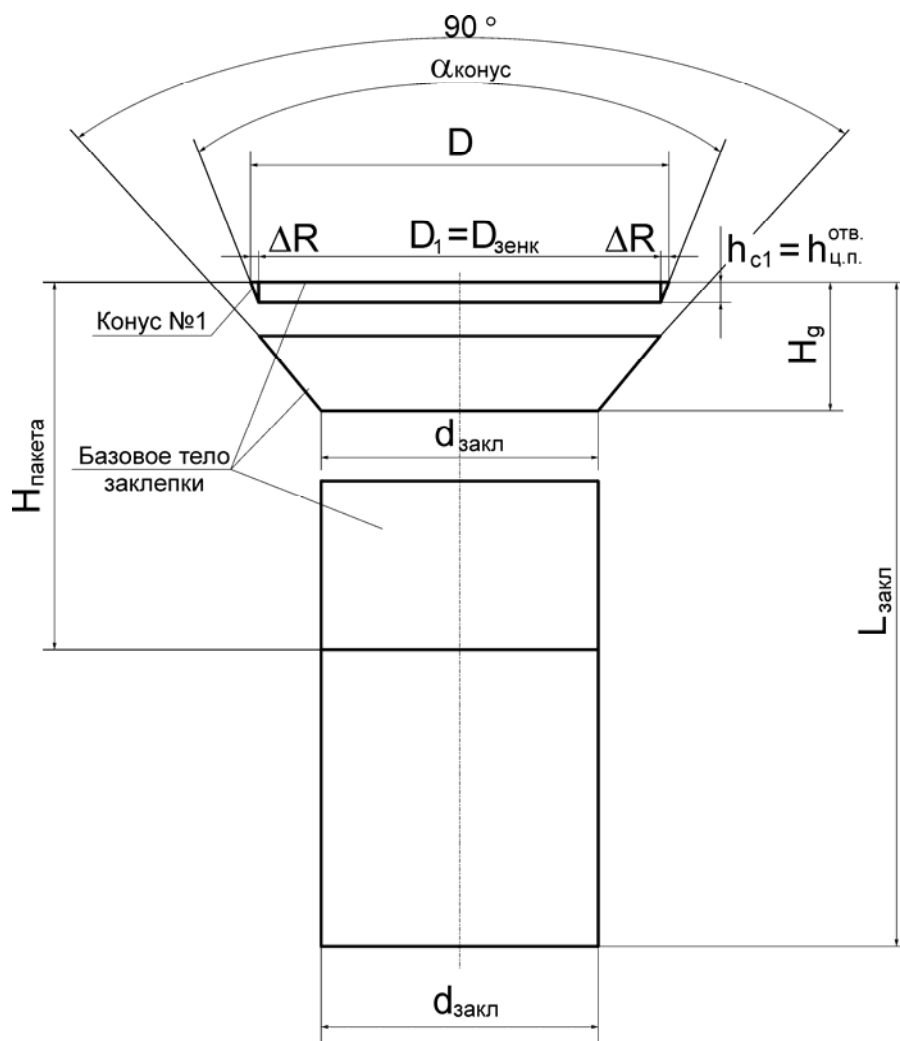


Рисунок 7 – Соотношение параметров усеченного конуса разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором и гнезда под ее установку

Технологический процесс выполнения соединений заклепками с корончатым компенсатором [4] согласно ПИ-249-78 [7] и ТИ 36-21-86 включает в себя следующие операции:

- образование отверстий;
- образование гнезд под закладные головки заклепок ОСТ 1 34052-85;
- подготовка узла к клепке;
- вставка заклепок;
- образование замыкающих головок;
- зачистка закладных головок заклепок ОСТ 1 34052-85;
- контроль качества заклепочных соединений.

Отверстие под потайную заклепку ОСТ 1 34052-85 выполняется сверлом или сверлом-разверткой. Номинальные диаметры сверл, диаметры отверстий под заклепку ОСТ 1 34052-85 и допустимые отклонения должны соответствовать табл. 1 ТИ 36-21-86 [9].

Гнездо под установку закладной головки заклепки ОСТ 1 34052-85 выполняют по методике, описанной в ПИ-249-78 специальной зенковкой черт. 61905 [7].

Геометрические параметры гнезда под установку разрабатываемой потайной заклепки, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры отверстия с гнездом под разрабатываемую потайную заклепку с коническим компенсатором

$d_{\text{закл}}$	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
$d_{\text{отв}} = d_{\text{свер}}$	3,050	3,550	4,050	5,050	6,050
$D_{\text{зенк}}$	4,800	5,600	6,400	8,000	9,600
$h_{\text{ц.п}}^{\text{отв}}$	0,250	0,300	0,350	0,400	0,500
$H_{\text{зенк}}$	1,125	1,325	1,525	1,875	2,275

Критериями, по которым определяли геометрические параметры разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором, являются:

– радиальный натяг, численные значения которого и характер распределения по толщине пакета принято использовать как интегральную характеристику, по которой можно спрогнозировать усталостную долговечность, герметичность и коррозионную стойкость заклепочного соединения;

– величина выступания закладной головки над поверхностью пакета после процесса клепки (не более 0,05 мм) как показатель КВП обшивки планера самолета.

Величину радиального натяга заклепочного соединения определяют по формуле [3]

$$\Delta = \frac{d_{\text{закл}}^{\text{клеп}} - d_{\text{отв}}}{d_{\text{отв}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где –  $d_{\text{закл}}^{\text{клеп}}$  – диаметр заклепки в измеряемом сечении после расклепывания;

–  $d_{\text{отв}}$  – диаметр отверстия в пакете до расклепывания заклепки.

С учетом соотношения параметров разрабатываемой потайной заклепки с параметрами гнезда под ее установку (см. рис. 7) величина наибольшего теоретически закладываемого радиального натяга в сечении торцевого основания конуса №1 определяют по формуле:

$$\Delta = \frac{D - D_{\text{зенк}}}{D_{\text{зенк}}}, \quad (2)$$

где –  $D = D_{\text{зенк}} + 2 \cdot \Delta R$  – диаметр заклепки в рассматриваемом сечении.

В свою очередь

$$\Delta R = h_{\text{ц.п}}^{\text{отв}} \cdot \text{tg} \left( \frac{\alpha_{\text{конус}}}{2} \right). \quad (3)$$

Следовательно,

$$\Delta = 2 \cdot \frac{h_{\text{ц.п}}^{\text{отв}}}{D_{\text{зенк}}} \cdot \text{tg} \left( \frac{\alpha_{\text{конус}}}{2} \right) \cdot 100\%. \quad (4)$$

Принимаем, что

$$2 \cdot \frac{h_{\text{ц.п}}^{\text{отв}}}{D_{\text{зенк}}} = A_{\text{инстр}}^{\text{тех}}, \quad (5)$$

где –  $A_{\text{инстр}}^{\text{тех}}$  – инструментальный коэффициент образования отверстия под установку проектируемой потайной заклепки (табл. 2).

Таблица 2 – Параметры заклепочного соединения

$d_{\text{закл}}$	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
$D_{\text{зенк}}$	4,800	5,600	6,400	8,000	9,600
$h_{\text{ц.п}}^{\text{отв}}$	0,250	0,300	0,350	0,400	0,500
$A_{\text{инстр}}^{\text{тех}}$	0,104	0,107	0,109	0,100	0,104

Согласно табл. 2 при разработке конструкции потайной заклепки коэффициент  $A_{\text{инстр}}^{\text{тех}}$  считаем постоянным. Для различных  $d_{\text{закл}}$  он в среднем составляет  $(A_{\text{инстр}}^{\text{тех}})_{\text{сред}} = 0,1048$ .

Следовательно, из формулы (4) видно, что максимальная величина теоретически закладываемого радиального натяга в сечении торцевого основания конуса №1 без учета технологических отклонений на изготовление инструмента и образование установочного гнезда под разрабатываемую потайную заклепку с коническим компенсатором для различных диаметров проектируемой заклепки зависит только от угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  конуса №1.

Зависимости максимальной величины теоретически закладываемого радиального натяга в сечении торцевого основания конуса №1 от угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  конуса №1 для различных диаметров разрабатываемой заклепки показаны на рис. 8.

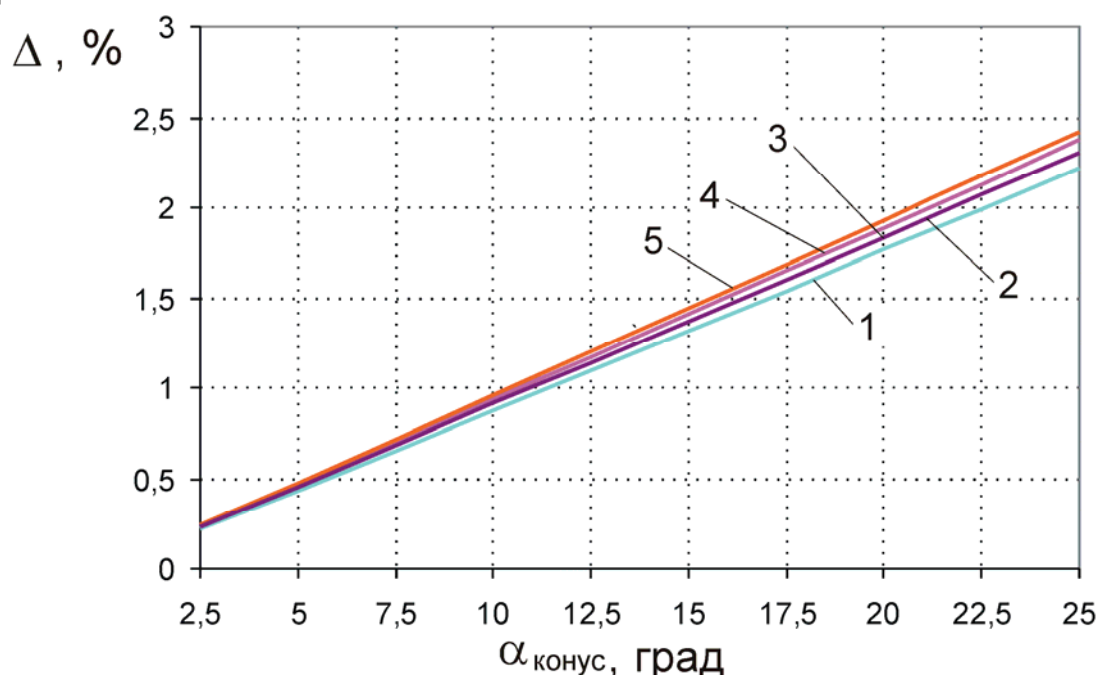


Рисунок 8 – Распределение максимальной величины теоретически закладываемого радиального натяга в сечении торцевого основания конуса №1 в зависимости от изменения значения угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  конуса №1:

1 –  $d_{\text{закл}} = 3,0$  мм; 2 –  $d_{\text{закл}} = 3,5$  мм; 3 –  $d_{\text{закл}} = 4,0$  мм;

4 –  $d_{\text{закл}} = 5,0$  мм; 5 –  $d_{\text{закл}} = 6,0$  мм

В качестве исследуемого параметра при разработке потайной заклепки с коническим компенсатором рассмотрен угол конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  усеченного конуса № 1 (см. рис. 7).

Влияние угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  усеченного конуса № 1 на величину выступания закладной головки после процесса клепки –  $\Delta Y_{\text{выст}}$  и характер распределения радиального натяга  $\Delta\%$  по толщине пакета рассматривали для заклепки с номинальным диаметром  $d_{\text{закл}} = 4$  мм. Длина заклепки потайной заклепки с конусом № 1 была подобрана согласно ОСТ 1 34102-80 [6]. Для соединяемого пакета толщиной 4 мм длина заклепки составила  $L_{\text{закл}} = 9$  мм.

Для исследования влияния  $\alpha_{\text{конус}}$  на характеристики разрабатываемой заклепки с потайной головкой  $\angle 90^\circ$  с коническим компенсатором был принят диапазон изменений угла конусности усеченного конуса № 1 с учетом изменения величины теоретически максимально возможных радиальных натягов в сечении торцевого основания конуса №1.

Рассмотрен диапазон величин  $\alpha_{\text{конус}}$  от 5 до 20° с шагом 2,5°.

Постоянные геометрические параметры потайной заклепки с коническим компенсатором приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Постоянные геометрические параметры потайной заклепки с коническим компенсатором

$d_{\text{закл}}$ , мм	$D_{\text{зенк}}$ , мм	$h_{\text{Ц,П}}^{\text{отв}}$ , мм	$H_g^*$ , мм	$L_{\text{закл}}$ , мм
4	6,4	0,35	1,55	9

Значение параметра D (см. рис. 7) разрабатываемой потайной заклепки с компенсатором является переменной величиной, линейно зависящей (2) от угла конусности усеченного конуса № 1 разрабатываемой потайной заклепки.

Для определения влияния угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  конуса № 1 на параметры заклепочного соединения была сформирована расчетная схема заклепочного соединения на основании геометрических параметров разрабатываемой потайной заклепки и параметров отверстия под ее установку. Было выбрано соединение двух круглых пластин диаметром  $6d_{\text{закл}}$  для возможности реализации осесимметричной расчетной схемы рассматриваемого заклепочного соединения.

Выбор осесимметричной расчетной схемы обусловлен возможностью в несколько раз ускорить итерационный процесс разработки конструкции потайной заклепки с коническим компенсатором.

Учитывая осевую симметрию рассматриваемого заклепочного соединения и осевой характер приложения внешней нагрузки, в качестве расчетной схемы исследовали сечение заклепочного соединения с соответствующими условиями закрепления (рис. 9). Вдоль осей X, Y для всех узлов, лежащих на торцевой поверхности пластин №1 и №2 были наложены ограничения на перемещения вдоль указанных осей. На осевые узлы сечения заклепки были наложены также ограничения на перемещения вдоль оси X. Процесс клепки моделировался перемещением абсолютно жестких штампов, моделирующих обжимки.



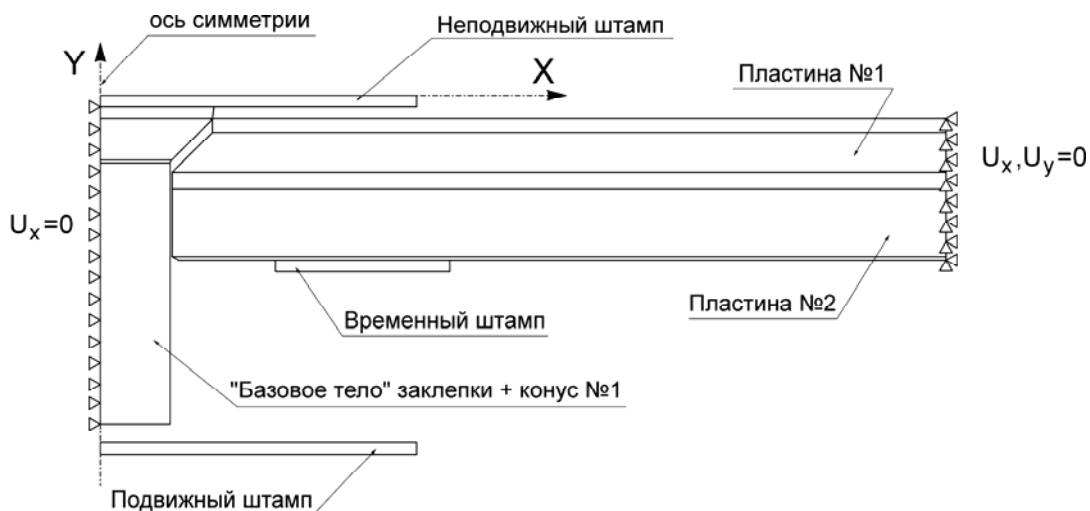


Рисунок 9 – Расчетная схема рассматриваемого заклепочного соединения

Для определения влияния угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  конуса № 1 на величину первоначальной посадки закладной головки  $\Delta Y_{\text{пос}}$  разрабатываемой потайной заклепки в установочное гнездо соединяемого пакета согласно выбранной расчетной схеме (рис. 9) с помощью системы ANSYS [11] была сформирована конечно-элементная модель заклепочного соединения (рис. 10) из элементов, представленных в системе, которые в полной мере удовлетворяют условиям решаемой задачи.

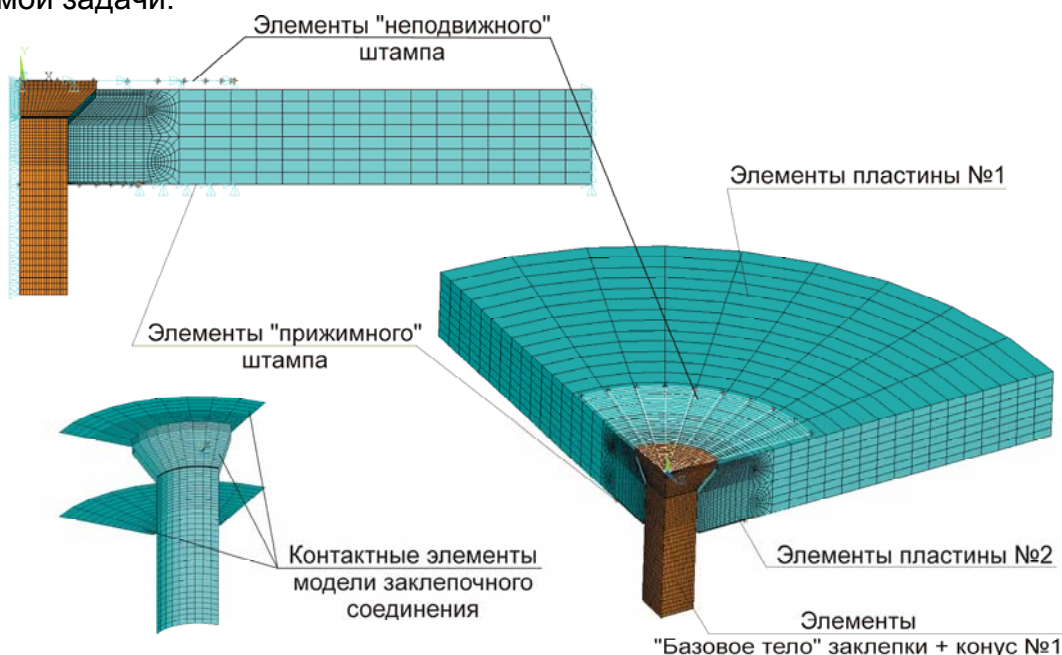


Рисунок 10 – Конечно-элементная модель заклепочного соединения для определения влияния угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  конуса №1 разрабатываемой потайной заклепки на величину первоначальной посадки потайной головки заклепки в установочное гнездо

На данном этапе расчетов в сформированную конечно-элементную модель для определения влияния угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  конуса №1 разрабатываемой потайной заклепки на величину первоначальной посадки заклепки  $\Delta Y_{\text{пос}}$  в установочное гнездо не были включены элементы "подвижного" штампа расчетной схемы.

В конечно-элементной модели заклепочного соединения использовали следующие характеристики материалов:

1) материал заклепки – алюминиевый сплав В65 с модулем упругости  $E = 71000 \text{ МПа}$  и коэффициентом Пуассона  $\mu = 0,3$ . Для описания поведения материала выбран закон полилинейного изотропного упрочнения материала (MISO) [11], предполагающий, что полный диапазон напряжений равен удвоенному значению предела текучести, так, чтобы учитывался эффект Баушингера.

Диаграмма растяжения материала В65 при комнатной температуре показана на рис. 11, а [1];

2) материал пластин, используемый для моделирования разрабатываемого заклепочного соединения, – алюминиевый сплав Д16Т с модулем упругости  $E = 72000 \text{ МПа}$  и коэффициентом Пуассона  $\mu = 0,3$ . В расчетах была принята опция полилинейного кинематического упрочнения материала (KINH) [13], учитывающая эффект Баушингера.

Диаграмма растяжения материала Д16Т при комнатной температуре показана на рис. 11, б [1].

При создании в расчетной модели контактных пар было учтено трение путем задания коэффициента сухого трения скольжения [2]:

- $\nu = 0,15$  – между заклепкой и пластиной;
- $\nu = 0,65$  – между заклепкой и штампами;
- $\nu = 0,94$  – между пластинами.

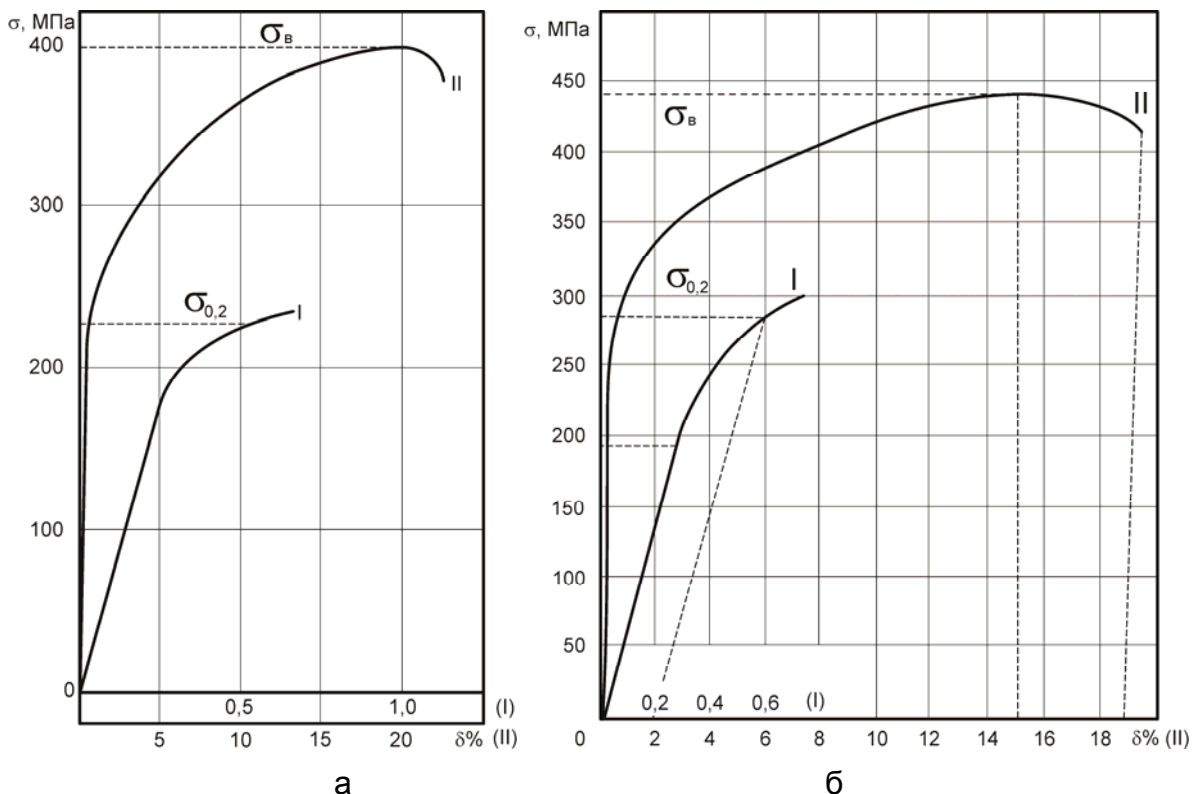


Рисунок 11 – Диаграмма растяжения материалов потайной заклепки и соединяемого пакета:

а – диаграмма растяжения сплава В65 при комнатной температуре

б – диаграмма растяжения сплава Д16-АТ при комнатной температуре

Конечно-элементная модель заклепочного соединения (рис. 10) состоит из плоских четырехузловых элементов PLANE 182 и контактных элементов TARGE 169 и CONTA 171, представленных в системе ANSYS. Всего модель содержит 2536 конечных элементов.

С помощью составленной конечно-элементной модели моделировался процесс установки заклепки в гнездо путем перемещения “неподвижного” штампа (рис. 12) для заклепки диаметром 4 мм с различными углами конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  на величины, указанные в табл. 4.

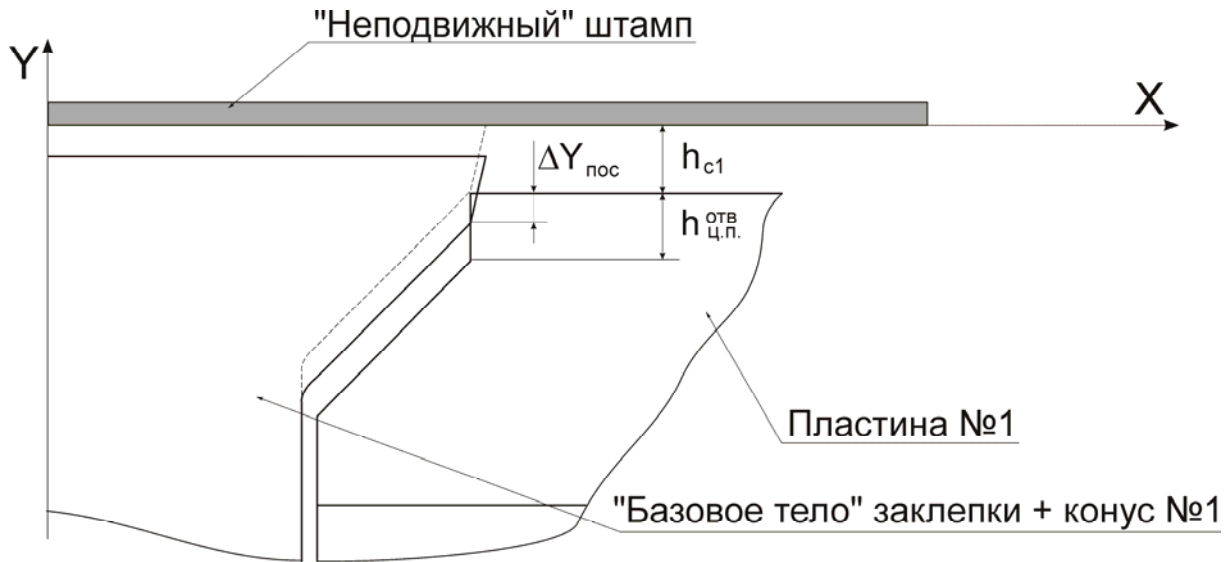


Рисунок 12 – Моделирование перемещения “неподвижного” штампа

Таблица – 4 Значения перемещения “неподвижного” штампа на этапе определения величины первоначального выступания закладной головки потайной заклепки

$\Delta Y_{\text{пос}}, \text{мм}$	0,025	0,05	0,075	0,10	0,125	0,15	0,175	0,20	0,25	0,3	0,35
------------------------------------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	------	-----	------

В результате расчета были получены величины возникающих контактных давлений  $q_{\text{контакт}}$  в зоне контакта “неподвижный штамп + заклепка и пакет”.

С учетом сил трения условие равновесия между “неподвижным” штампом и заклепкой и пакетом можно записать:

$$q_{\text{контакт}}^{\text{сред}} \cdot F_{\text{контакт}} = P_{\text{устан}}, \quad (6)$$

где  $q_{\text{контакт}}^{\text{сред}}$  – осредненное значение контактного давления на площадку контакта, МПа;

–  $F_{\text{контакт}}$  – площадь зоны контакта,  $\text{мм}^2$ ;

–  $P_{\text{устан}}$  – усилие предварительной установки разрабатываемой заклепки в установочное гнездо.

Влияние  $\alpha_{\text{конус}}$  на величину и характер распределения  $P_{\text{устан}}$  при различных значениях  $\Delta Y_{\text{пос}}$  показано на рис.13.

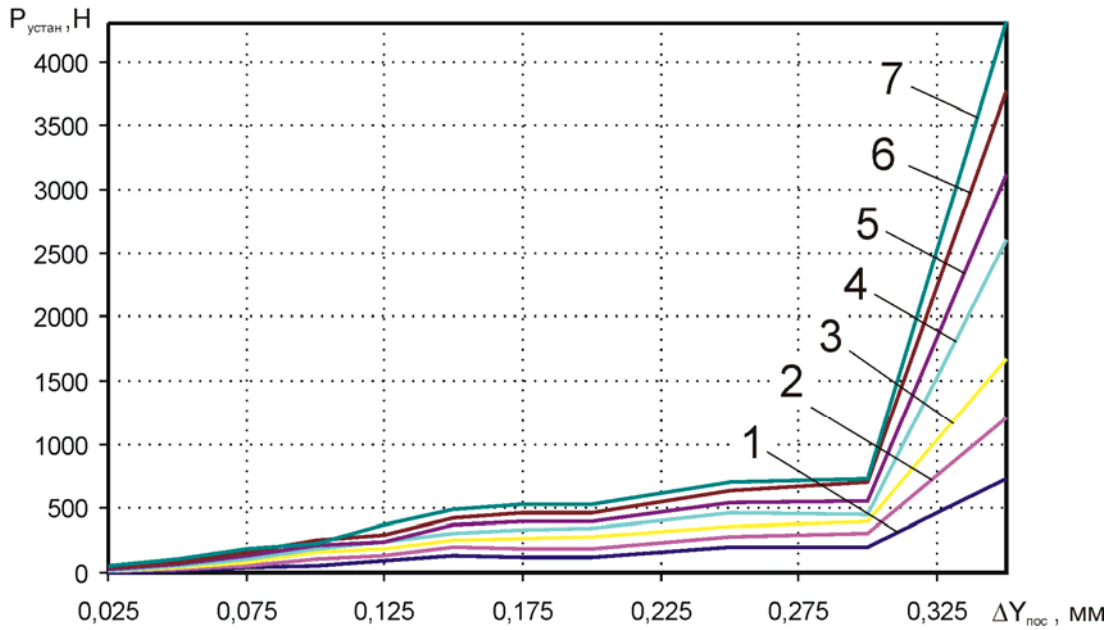


Рисунок 13 – Влияние  $\alpha_{\text{конус}}$  на величину и характер распределения  $P_{\text{устан}}$  при различных значениях  $\Delta Y_{\text{пос}}$ :

- 1 –  $\alpha_{\text{конус}} = 5^\circ$ ; 2 –  $\alpha_{\text{конус}} = 7,5^\circ$ ; 3 –  $\alpha_{\text{конус}} = 10^\circ$ ; 4 –  $\alpha_{\text{конус}} = 12,5^\circ$ ;  
 5 –  $\alpha_{\text{конус}} = 15^\circ$ ; 6 –  $\alpha_{\text{конус}} = 17,5^\circ$ ; 7 –  $\alpha_{\text{конус}} = 20^\circ$

Область  $P_{\text{устан}}(\Delta Y_{\text{пос}})$  в диапазоне  $P_{\text{устан}}$  от 0 до 200 МПа показана на рис. 14.

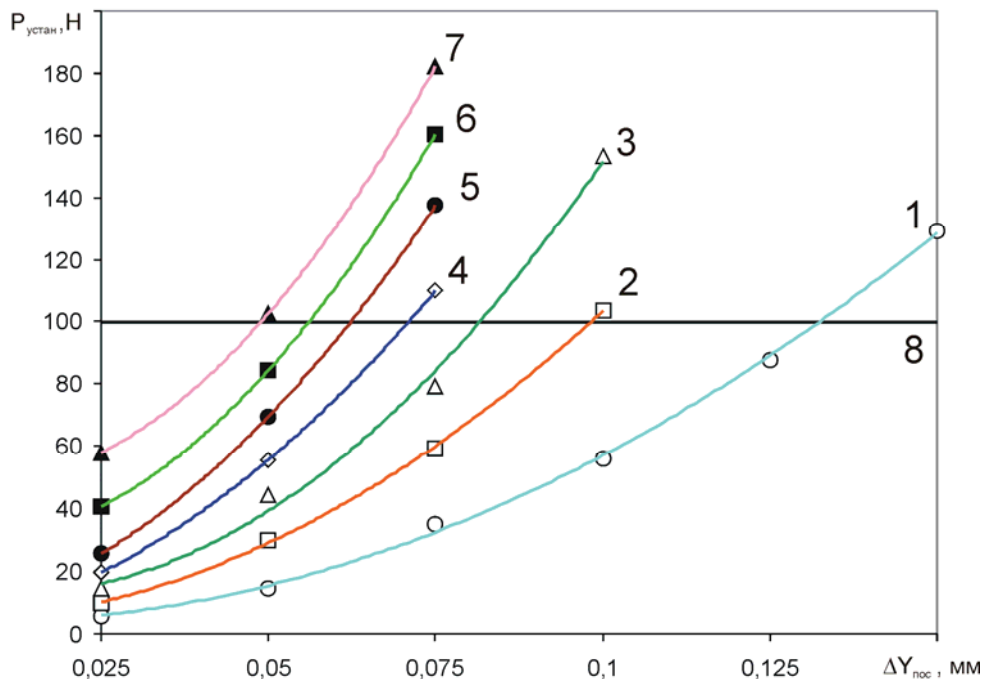


Рисунок 14 – Влияние  $\alpha_{\text{конус}}$  на величину и характер распределения  $P_{\text{устан}}$  при различных значениях  $\Delta Y_{\text{пос}}$  в диапазоне  $P_{\text{устан}}$  от 0 до 200 МПа:

- 1 –  $\alpha_{\text{конус}} = 5^\circ$ ; 2 –  $\alpha_{\text{конус}} = 7,5^\circ$ ; 3 –  $\alpha_{\text{конус}} = 10^\circ$ ; 4 –  $\alpha_{\text{конус}} = 12,5^\circ$ ;  
 5 –  $\alpha_{\text{конус}} = 15^\circ$ ; 6 –  $\alpha_{\text{конус}} = 17,5^\circ$ ; 7 –  $\alpha_{\text{конус}} = 20^\circ$ ; 8 – граничное условие по  $P_{\text{устан}}^{\text{limit}}$

Кривые зависимости  $P_{устан}(\Delta Y_{пос})$  для различных углов конусности  $\alpha_{конус}$  в указанном диапазоне получены путем аппроксимации значений  $\Delta Y_{пос}$  в рассматриваемой области полиномом второго порядка на основе метода наименьших квадратов.

Кривая 8 (см. рис. 14) является граничным условием на величину усилия предварительной установки разрабатываемой заклепки в установочное гнездо.

На этапе разработки потайной заклепки с коническим компенсатором для данного расчетного случая было принято предельное усилие установки потайной заклепки в установочное гнездо отверстия –  $P_{устан}^{limit} = 100 \text{ Н}$ .

Влияние угла конусности конуса № 1 разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором на величину предварительной посадки  $\Delta Y_{пос}^{пред}$  закладной головки потайной заклепки в установочное гнездо с учетом граничного условия на величину усилия предварительной установки  $P_{устан}^{limit} = 100 \text{ Н}$  показано на рис. 15.

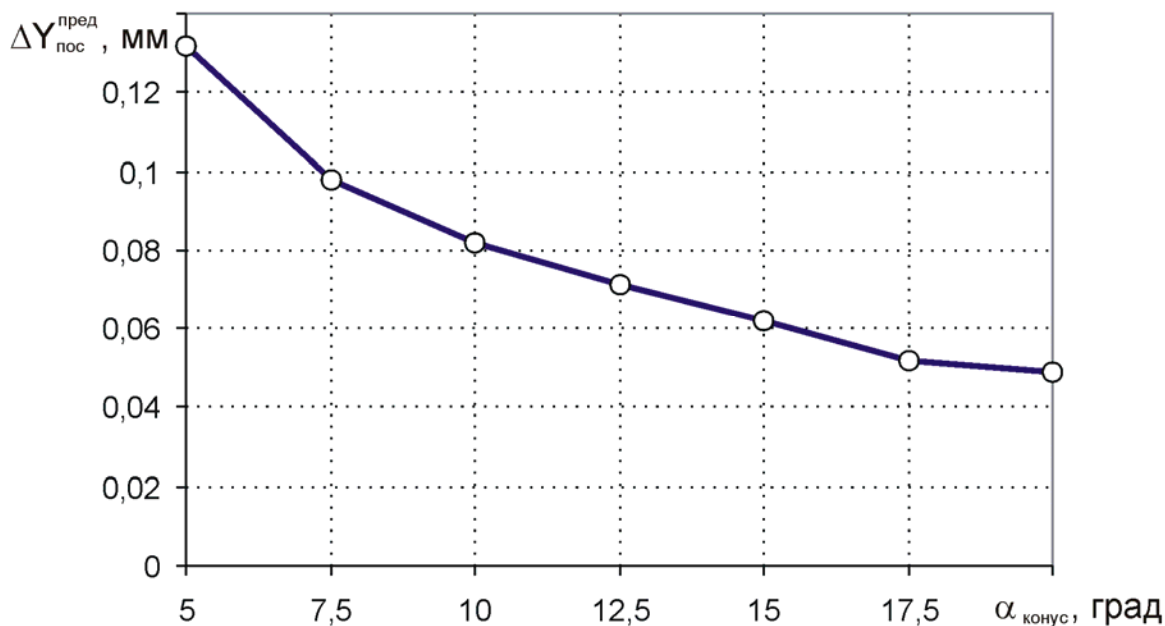


Рисунок 15 – Влияние  $\alpha_{конус}$  разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором на величины предварительной посадки  $\Delta Y_{пос}^{пред}$  закладной головки потайной заклепки в установочное гнездо с учетом граничного условия на величину усилия предварительной установки  $P_{устан}^{limit} = 100 \text{ Н}$

После определения величины предварительной посадки  $\Delta Y_{пос}^{пред}$  закладной головки разрабатываемой потайной заклепки в установочное гнездо для различных значений угла конусности  $\alpha_{конус}$  для моделирования процесса клепки заклепочного соединения была сформирована на основе расчетной схемы (см. рис. 9) конечно-элементная модель заклепочного соединения (рис. 16), включающая в себя элементы “подвижного” штампа.

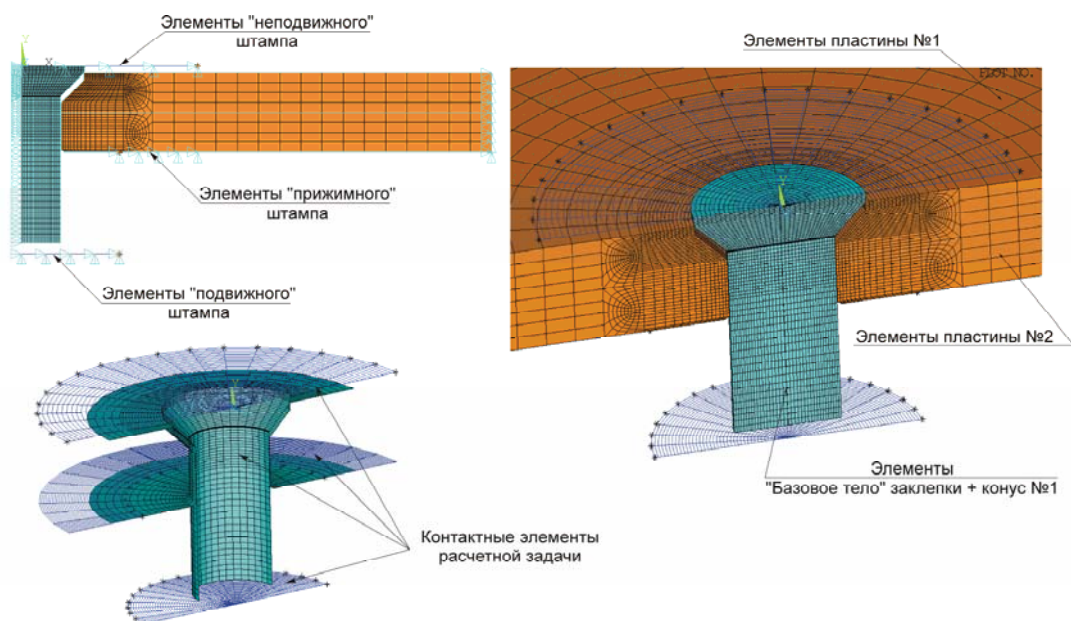


Рисунок 16 – Конечно-элементная модель заклепочного соединения, моделирующая процесс клепки потайной заклепки с коническим компенсатором

Конечно-элементная модель заклепочного соединения (см. рис. 16) состоит из плоских четырехузловых элементов PLANE 182 и контактных элементов TARGE 169 и CONTA 171 [11]. Всего модель содержит 2591 конечный элемент.

Материалы для элементов заклепки, пластин и штампов использовали те же, что и при расчете задач определения предварительной посадки разрабатываемой потайной заклепки в установочное гнездо.

С помощью сформированной конечно-элементной модели моделировался процесс установки заклепки в гнездо на величину предварительной посадки  $\Delta Y_{\text{пос}}^{\text{пред}}$  и дальнейший процесс клепки разрабатываемой потайной заклепки диаметром 4 мм с различными углами конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  путем перемещений "подвижного" штампа (рис. 17) до образования замыкающей головки заклепки высотой  $0,4d_{\text{закл}}$ , что соответствует требованиям, изложенным в ТИ 36-21-86 [9].

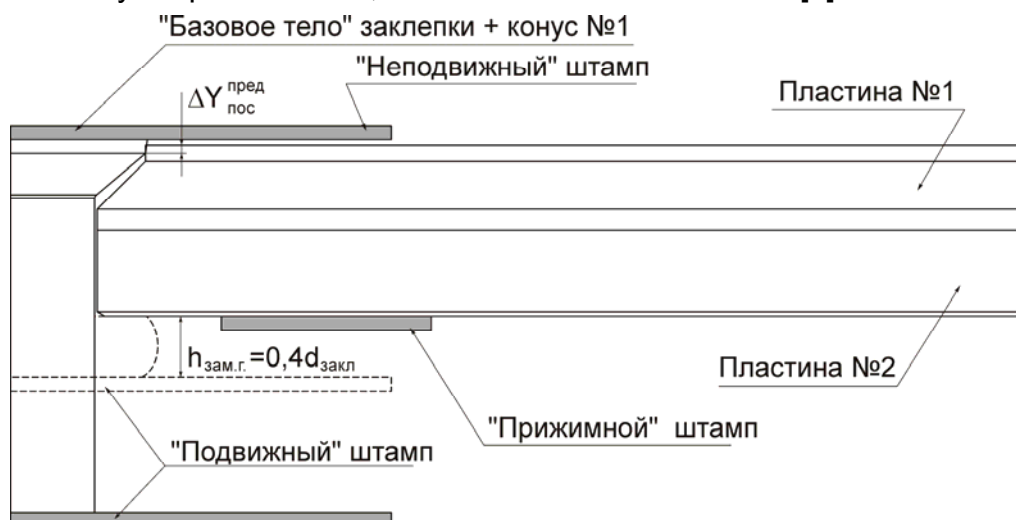


Рисунок 17 – Схема формирования замыкающей головки разрабатываемой потайной заклепки



В результате расчетов отклонение от высоты замыкающей головки разрабатываемой потайной заклепки не превышало 1,5% от требуемого значения высоты замыкающей головки согласно ТИ 36-21-86 [9].

Характер распределения радиального натяга по толщине пакета для различных углов конусности конуса №1 разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором, показан на рис. 18.

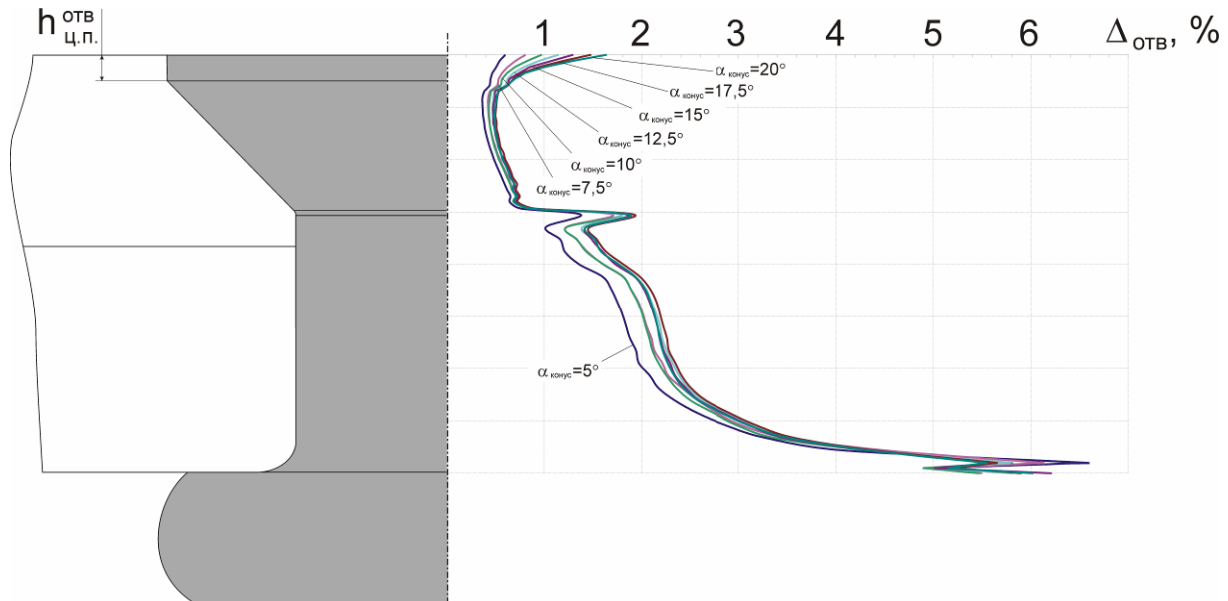


Рисунок 18 – Характер распределения радиального натяга по толщине соединяемого пакета

Характер распределения радиального натяга по высоте цилиндрической части зенкованного отверстия для различных углов конусности конуса № 1 разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором, показан на рис. 19.

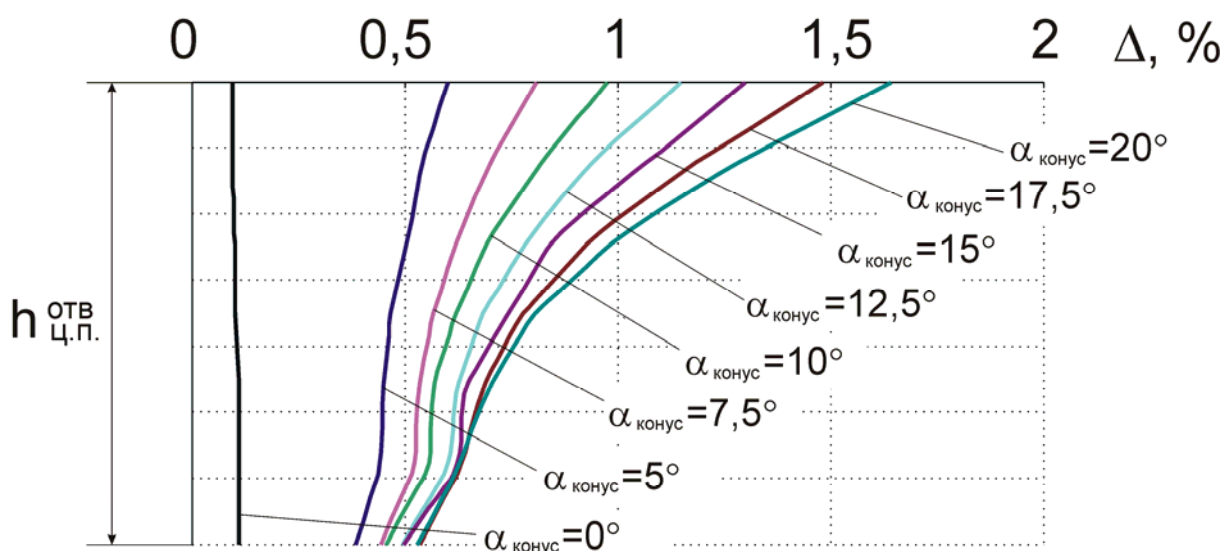


Рисунок 19 – Характер распределения радиального натяга по высоте цилиндрической части зенкованного отверстия для различных углов конусности конуса № 1

Среднюю величину выступания закладной головки  $\Delta h_{\text{ВЫСТ}}^{\text{сред}}$  разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором после клепки определяли путем вычисления разницы между осредненными значениями координат узлов торцевой поверхности закладной головки заклепки и координат узлов поверхности пакета после моделирования процесса клепки.

Максимальную величину выступания закладной головки  $\Delta h_{\text{ВЫСТ}}^{\text{max}}$  разрабатываемой потайной заклепки после клепки находили путем определения разницы между максимальным значением координат узлов торцевой поверхности закладной головки разрабатываемой потайной заклепки и минимальным значением координат узлов поверхности пакета после процесса клепки.

Влияние угла конусности на значение средней  $\Delta h_{\text{ВЫСТ}}^{\text{сред}}(\alpha_{\text{конус}})$  и максимальной  $\Delta h_{\text{ВЫСТ}}^{\text{max}}(\alpha_{\text{конус}})$  величин выступания закладной головки после процесса клепки показано на рис. 20.

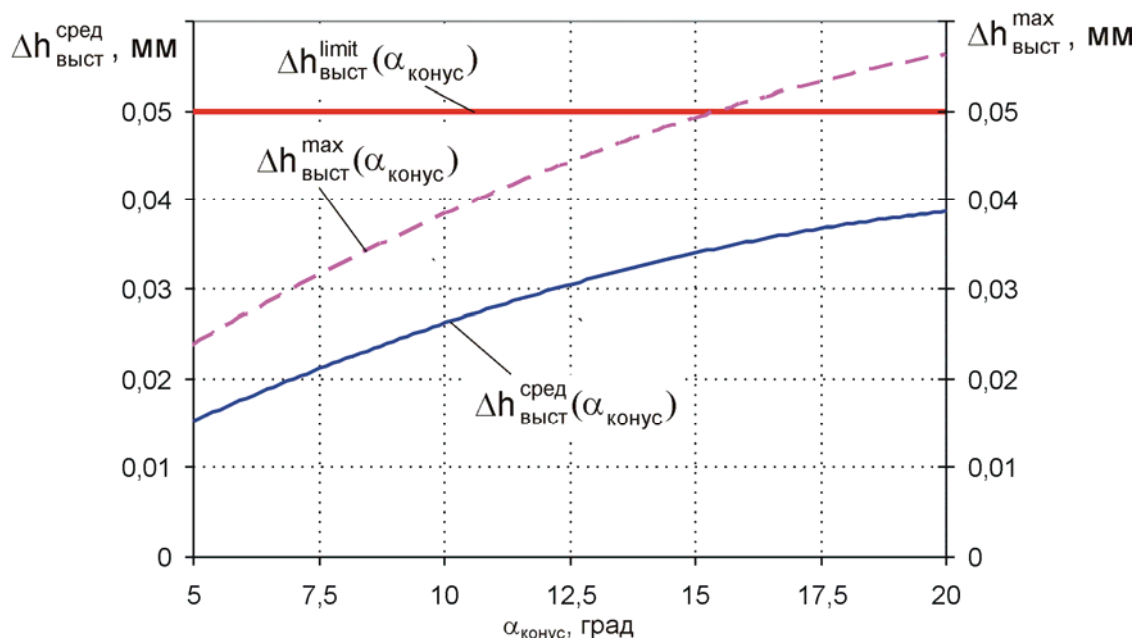


Рисунок 20 – Влияние угла конусности на значение средней и максимальной величин выступания закладной головки после процесса клепки

Кривая  $\Delta h_{\text{ВЫСТ}}^{\text{limit}}(\alpha_{\text{конус}})$  является ограничивающей кривой по величине выступания закладной головки разрабатываемой потайной заклепки.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к высоте выступания закладной головки разрабатываемой потайной заклепки – 0,05 мм, согласно рис. 18 оптимальное значение угла конусности конуса №1 для разрабатываемой потайной заклепки в зависимости от максимального значения высоты выступания закладной головки заклепки над поверхностью пластины заклепочного соединения после клепки составило  $\alpha_{\text{конус}}^{\text{опт var 2}} = 15^\circ$ .

Конструкция разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором показана на рис. 21.

Геометрические параметры разрабатываемой потайной заклепки представлены в табл. 7.



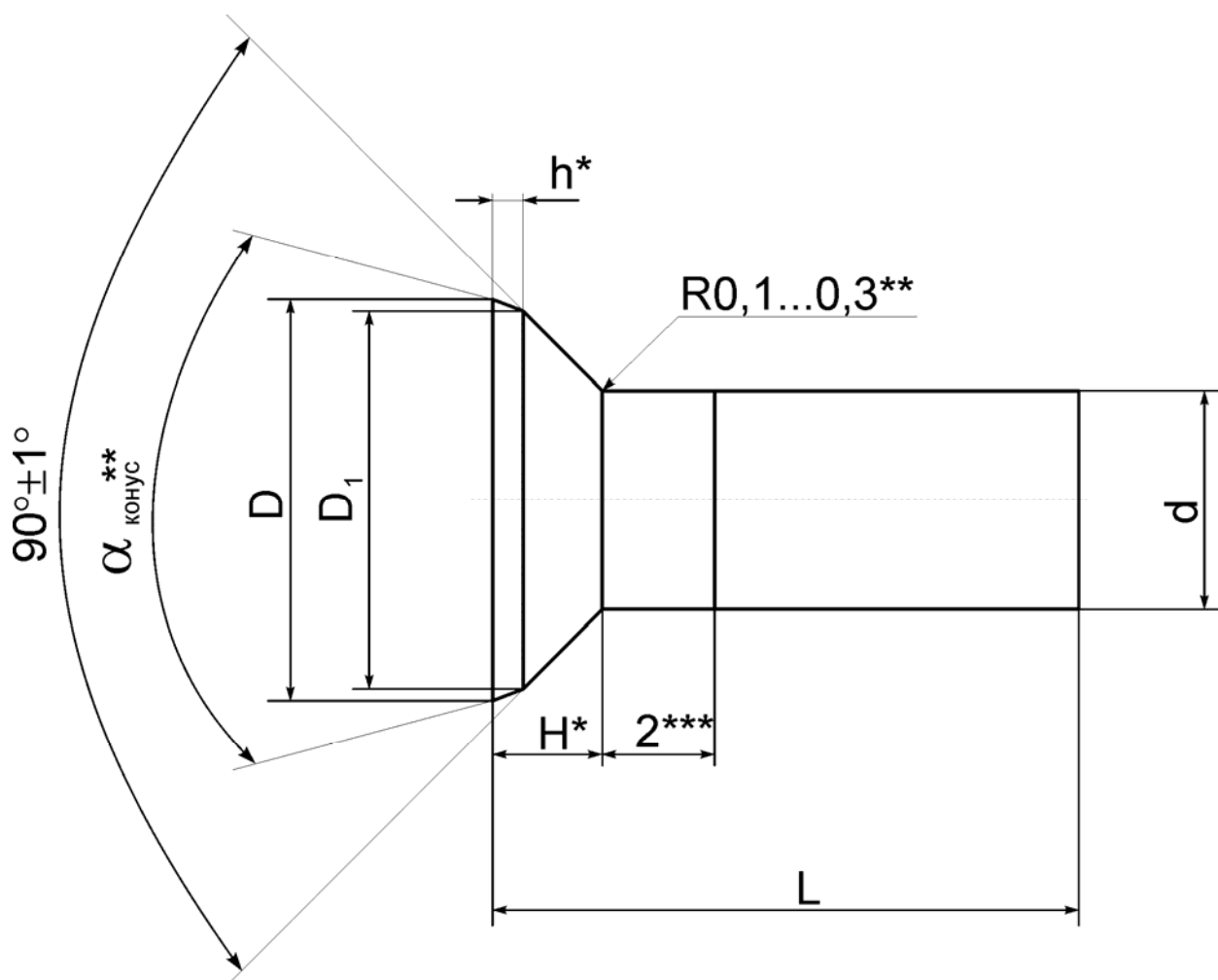


Рисунок 21 – Конструкция разрабатываемой потайной заклепки с коническим компенсатором

Таблица 7 – Геометрические параметры потайной заклепки с коническим компенсатором

d Пред. откл. +0,04	D <sub>1</sub>		α Пред. откл. ±1°	D		h +0,025	H +0,05
	Номин.	Пред. откл.		Номин.	Пред. откл.		
3,0	4,8	±0,025	15 <sup>0</sup>	4,87	±0,01	0,25	1,15
3,5	5,6		15 <sup>0</sup>	5,68		0,3	1,35
4,0	6,4		15 <sup>0</sup>	6,5		0,35	1,55
5,0	8,0		15 <sup>0</sup>	8,11		0,4	1,9
6,0	9,6	±0,03	15 <sup>0</sup>	9,73	±0,02	0,5	2,3

Характер распределения радиального натяга по толщине соединяемого пакета для заклепки с  $\alpha_{\text{конус}} = 15^\circ$  показан на рис. 22.

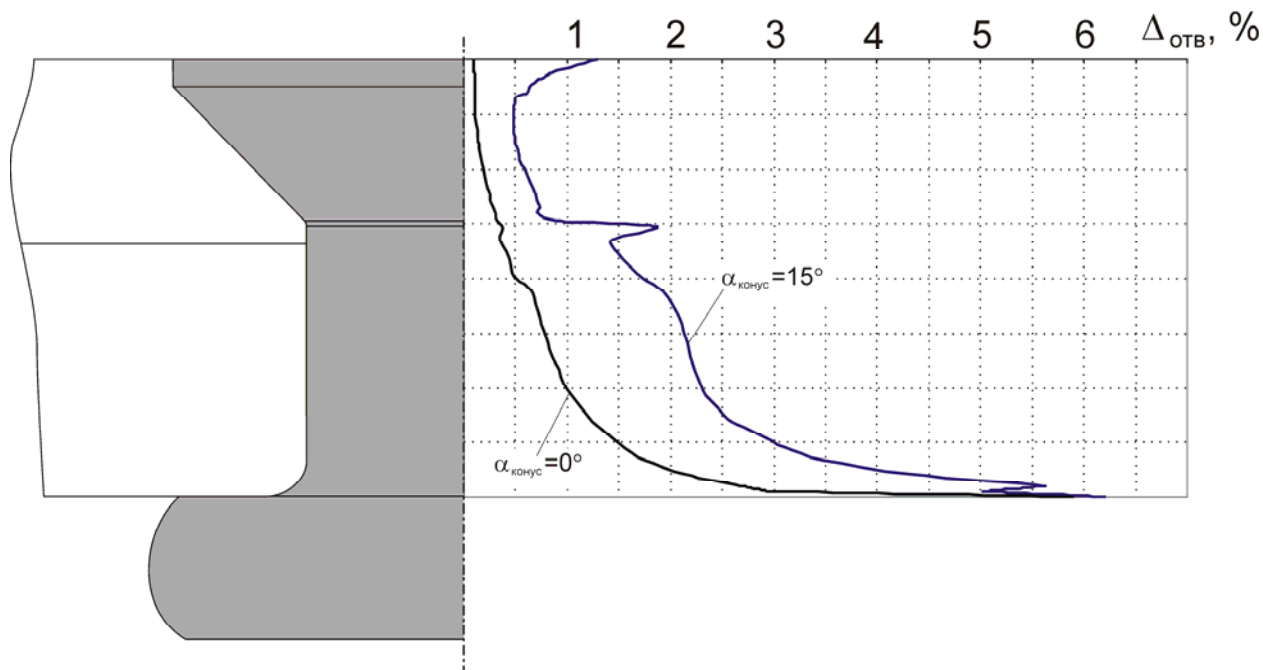


Рисунок 22 – Характер распределения радиального натяга по толщине соединяемого пакета для потайной заклепки с  $\alpha_{\text{конус}} = 15^\circ$

Характер распределения эквивалентных напряжений  $\sigma_{\text{ЭКВ}}$  в заклепочном соединении для расчетного случая заклепки с  $\alpha_{\text{конус}} = 15^\circ$  показан на рис. 23.

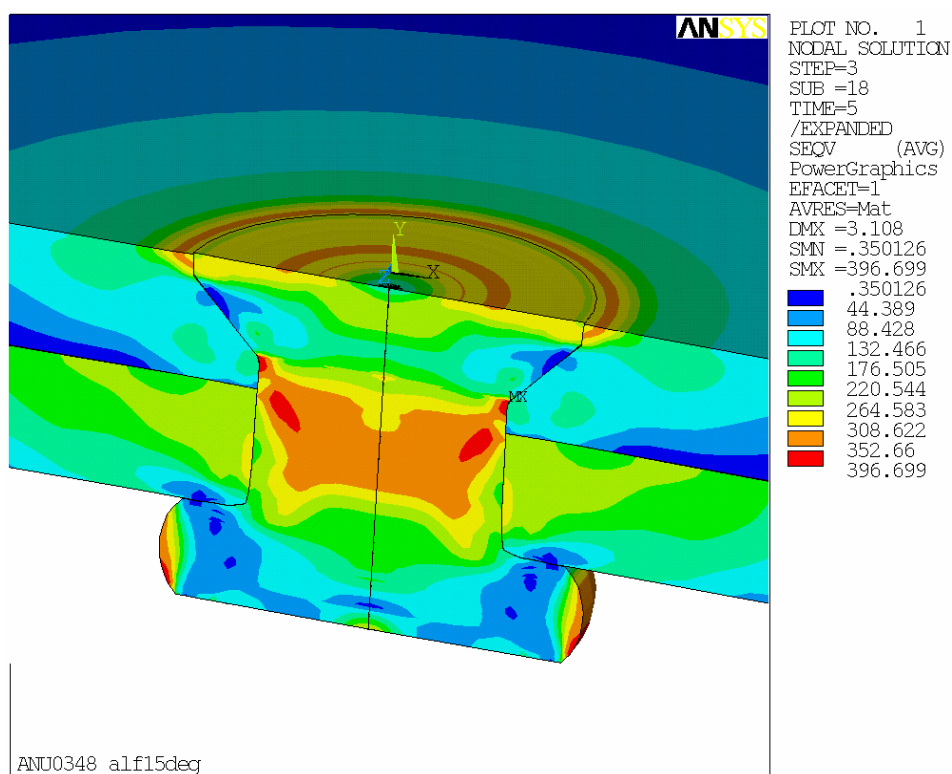


Рисунок 23 – Характер распределения эквивалентных напряжений  $\sigma_{\text{ЭКВ}}$  в заклепочном соединении для расчетного случая разрабатываемой потайной заклепки с  $\alpha_{\text{конус}} = 15^\circ$

Согласно расчетам для выбранного диапазона углов конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  конуса № 1 добавление к цилиндрическому пояску потайной головки “базового тела” заклепки конуса с углом конусности  $\alpha_{\text{конус}} = 15^\circ$  позволило увеличить радиальный натяг в зоне цилиндрического пояска гнезда под установку закладной головки потайной заклепки по сравнению с “базовым телом” заклепки (см. рис. 23) в среднем в 7,8 раза; в зоне конического пояса закладной головки разрабатываемой потайной заклепки – в 3,2 раза; в зоне стержня заклепки, находящегося в соединяемом пакете, – в 1,55 раза.

### Выводы

1. Разработана конструкция заклепки с потайной головкой  $\angle 90^\circ$  с коническим компенсатором, обеспечивающая требуемое качество внешней поверхности крыла и удовлетворительный характер распределения радиального натяга без фрезерования закладных головок заклепок после клепки.

2. Исследовано влияние угла конусности усеченного конуса, потайной заклепки с коническим компенсатором на характер распределения радиального натяга по толщине рассматриваемого заклепочного соединения. Определено оптимальное с точки зрения КВП значение угла конусности:  $\alpha_{\text{конус}} = 15^\circ$ .

3. Показано, что разработанная конструкция потайной заклепки с коническим компенсатором обеспечивает требуемое теоретическое выступание закладных головок заклепок над поверхностью обшивки после процесса клепки (0,05 мм) и не требует последующей операции фрезерования закладных заклепок.

4. Предложен метод определения влияния геометрических параметров потайной заклепки с коническим компенсатором на КВП и распределение радиального натяга по толщине соединяемого пакета с учетом величины предварительной установки заклепки с коническим компенсатором в потайное гнездо.

### Список литературы

1. Авиационные материалы: справочник – т.4, ч.1/ – М.:ОНТИ, 1982 – 627 с.
2. Авиационный технический справочник – изд. 2-е / В.Г. Александров, А.В. Майоров – М.; Транспорт, 1975. – 430 с.
3. Методология интегрированного проектирования и моделирования сборных самолетных конструкций/ А.Г. Гребеников. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2006 – 532 с.
4. ОСТ 1 34052-85. Заклепки с потайной головкой  $\angle 90^\circ$  с корончатым компенсатором.
5. ОСТ 1 34055-92. Заклепки с потайной головкой  $\angle 90^\circ$  с цилиндрическим компенсатором.
6. ОСТ 1 340102-80. Диаметры отверстий под заклепки, размеры замыкающих головок и подбор длины.
7. ПИ 249-78. Клепка металлических конструкций заклепками по ГОСТ 14797-75 – ГОСТ 14803 75. – М.: НИАТ, 1978. – 52 с.
8. Проведение исследования по определению эффективности экономии топлива за счет совершенствования качества внешней поверхности.: Отчет о НИР (заключительный)/ № 1.01.04.26х.– М., 1983
9. ТИ 36-21-86. Выполнение высокоресурсных герметичных соединений заклепками с компенсатором. – К.: КМЗ, 1986, – 15 с.
10. ANSYS: Справочник пользователя. / Басов К.А. – М.:ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
11. ANSYS Analysis Guide. Structural Analysis Guide. Chapter 8. Nonlinear structural analysis. 001087. 4th Edition. SAS IP©.