

## **Анализ влияния геометрических параметров модифицированного зенкованного отверстия и угла конусности компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на характеристики локального НДС элементов незагруженного потайного заклепочного соединения**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*

Проведен анализ влияния угла конусности  $\beta$  модифицированного зенкованного отверстия и угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на характеристики локального НДС элементов незагруженного потайного заклепочного соединения.

**Ключевые слова:** потайная заклепка, потайное гнездо, компенсатор, угол конусности пояса зенкованного отверстия, угол конусности компенсатора потайной заклепки, характеристики НДС, качество внешней поверхности, натяг, контактное давление, удельная энергия деформирования.

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.

Увеличить выносливость и герметичность потайных заклепочных соединений в настоящее время можно, применив заклепки с компенсаторами, которые обеспечивают радиальную раздачу заклепки по всей толщине соединяемых деталей и тем самым уменьшают отрицательное влияние потайных гнезд под закладные головки заклепок на характеристики усталостной долговечности элементов потайных заклепочных соединений.

Для выполнения высокоресурсных потайных заклепочных соединений элементов планера летательного аппарата в 80-90-х годах были разработаны и нашли применение потайные заклепки с компенсаторами ОСТ 1 34052-85 (ЗУКК) [6] (см. рис. 1, а) и ОСТ 1 34055-92 [7] (см. рис. 1, б). Из-за возрастающих требований к качеству внешней поверхности летательного аппарата, используемые заклепки при клепке по технологии согласно ПИ 249-79 [9] и разработанных на ее основе технологических инструкций ТИ 36-21-86 [10] и ТИ 36-53-92 [11] уже не обеспечивают требуемой величины выступания закладной головки заклепки над поверхностью соединяемых деталей в зонах заклепочных швов. Закладные головки применяемых потайных заклепок с компенсатором после процесса клепки выступают над поверхностью соединяемых элементов на величину, значительно превышающую предельно допустимую техническими условиями на КВП, и требуют дополнительных доводочных операций. Доводочные операции заключаются в фрезеровании избыточного материала закладных головок, что приводит к удалению защитного антикоррозионного покрытия с закладных головок потайных заклепок и не исключает повреждения его и обшивки на примыкающих к закладным головкам участках из-за имеющей место утяжки последней, а также при использовании для зачистки ручного механического инструмента.

В связи с возросшими требованиями, предъявляемыми к долговечности, качеству внешней поверхности и герметичности выполняемых потайных заклепочных соединений элементов планера летательного аппарата сотрудниками

Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского “ХАИ” совместно с ГП “Антонов” была разработана новая прогрессивная потайная заклепка с потайной головкой  $\angle 90^\circ$  с компенсатором в виде одного усеченного конуса, расположенного на торце закладной головки (АНУ0348) [5] (рис. 1, в).

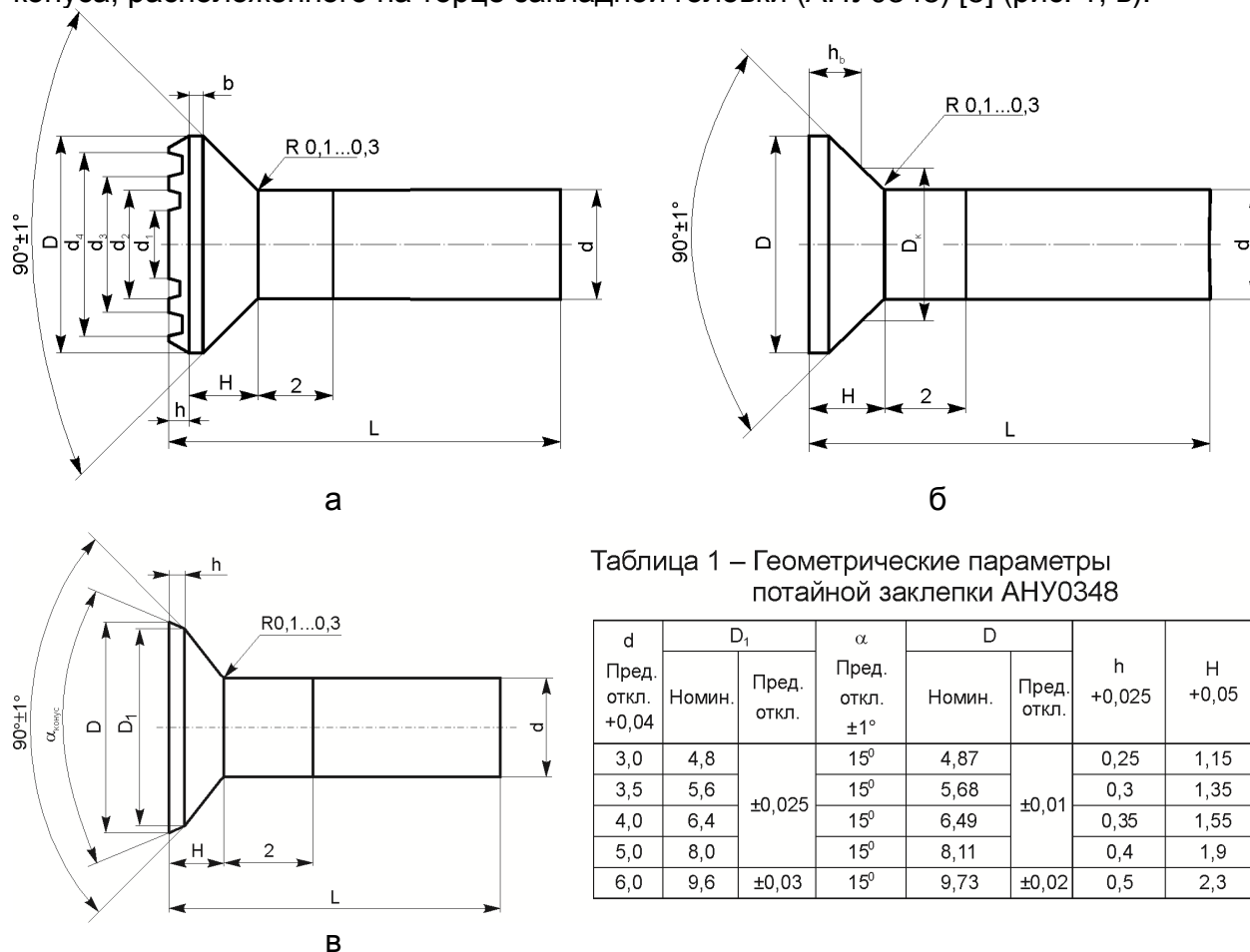


Рис. 1. Потайные заклепки с компенсатором:

- а – потайная заклепка с корончатым компенсатором ОСТ 1 34052-85 (ЗУКК);
- б – потайная заклепка с цилиндрическим компенсатором ОСТ 1 34055-92;
- в – потайная заклепка АНУ0348 с компенсатором в виде одного усеченного конуса, расположенного на торце закладной головки

Для улучшения характеристик локального НДС, влияющих на долговечность, герметичность и качество внешней поверхности потайного заклепочного соединения, выполненного заклепкой АНУ0348, было предложено рассмотреть возможность использования модифицированного гнезда [4] под установку данной потайной заклепки.

Целью данной работы является исследование влияния геометрических параметров модифицированного потайного гнезда под установку потайной заклепки и угла конусности компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на характеристики локального НДС элементов незагруженного потайного заклепочного соединения.

Разработан метод анализа характеристик локального НДС потайного заклепочного соединения с модифицированным гнездом под установку прогрессивной потайной заклепки АНУ0348 с компенсатором в виде одного усеченного конуса, расположенного на торце закладной головки, не требующей фрезерования закладной головки после клепки.

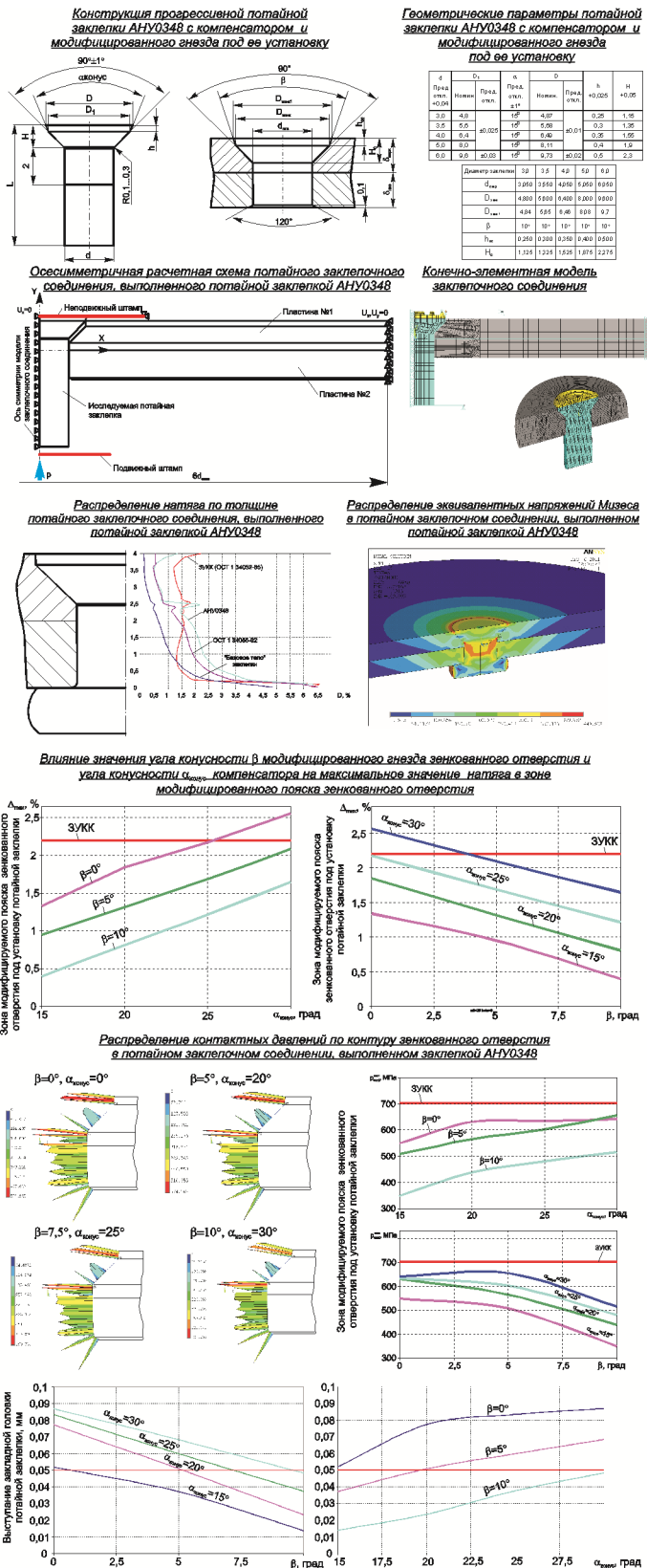
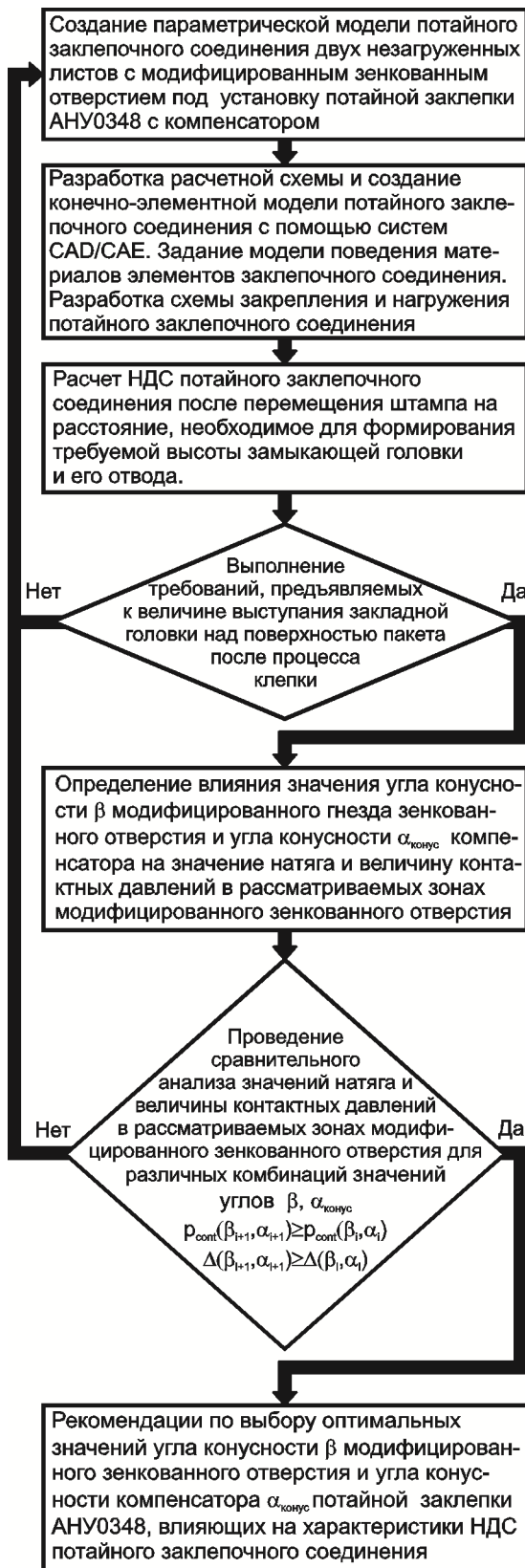


Рис. 2. Метод анализа характеристик локального НДС потайного заклепочного соединения с модифицированным гнездом под установку прогрессивной потайной заклепки АНУ0348 с компенсатором в виде одного усеченного конуса, расположенного на торце закладной головки, не требующей фрезерования закладной головки после клепки

В работе [4] было исследовано влияние геометрических параметров модифицированного потайного гнезда под установку потайной заклепки на характеристики локального НДС в пластине с модифицированным зенкованным отверстием. Модификация гнезда заключалась в замене цилиндрического пояска зенкованного отверстия, выполненного зенковкой №61905 согласно ТИ 36-21-86 [10] (рис. 3, а), коническим пояском (рис. 3, б) для обеспечения требуемого качества внешней поверхности и герметичности соединения без существенного уменьшения статической прочности и усталостной долговечности потайного заклепочного соединения.

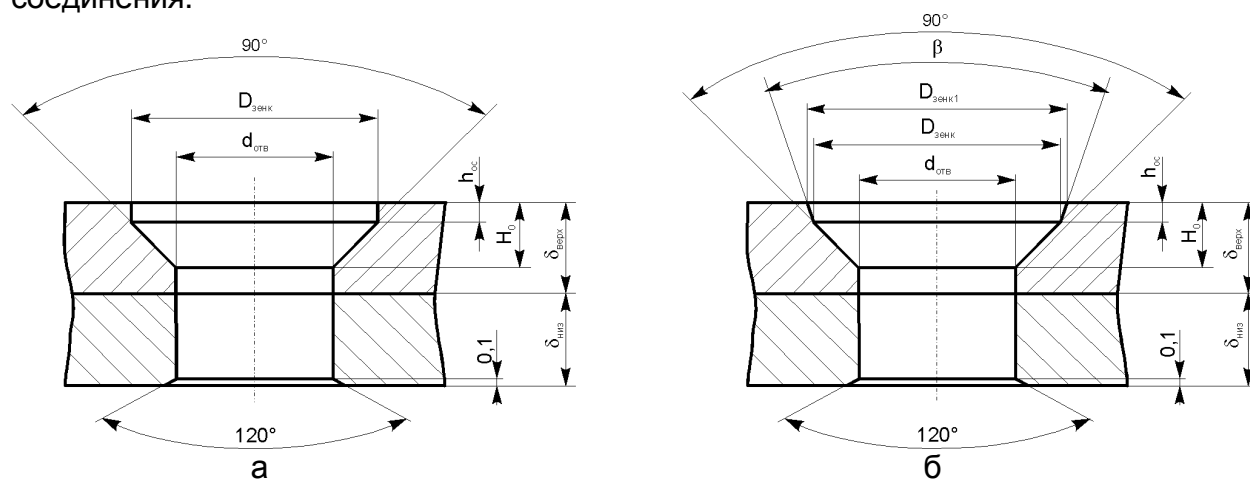


Рис. 3. Форма и геометрические параметры исследуемого зенкованного отверстия:  
 а — зенкованное отверстие, выполненное по ТИ 36-21-86 (ТИ 36-53-92);  
 б — модифицированное зенкованное отверстие под установку потайной заклепки АНУ0348 с компенсатором

Параметры зенкованного отверстия (рис. 3, а) для установки потайной заклепки АНУ0348 с компенсатором приведены в работе [4]. Параметры модифицированного зенкованного отверстия с углом конусности модифицированного пояска  $10^\circ$  (рис. 3, б) приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Геометрические параметры модифицированного зенкованного отверстия с углом конусности модифицированного пояска  $\beta=10^\circ$

Диаметр заклепки, мм	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
$d_{отв}$ , мм	3,05	3,55	4,05	5,05	6,05
$D_{зенк}$ , мм	4,80	5,60	6,40	8,00	9,60
$D_{зенк1}$ , мм	4,84	5,65	6,46	8,08	9,7
$\beta$ , град	10	10	10	10	10
$h_{ос}$ , мм	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
$H_0$ , мм	1,125	1,325	1,525	1,875	2,275

С учетом того, что с увеличением угла конусности величина натяга в зоне конического пояска зенкованного отверстия будет падать, рассмотрено две модификации гнезда с углами конусности  $\beta$ , равными 5 и  $10^\circ$ .

В связи с изменением формы и геометрических параметров гнезда под установку потайной заклепки АНУ0348 для обеспечения требуемых характеристик НДС исследуемого заклепочного соединения в работе были исследованы случаи выполнения потайного заклепочного соединения заклепкой АНУ0348 с увеличенным углом конусности компенсатора на 5, 10 и 15°.

Объект исследования – незагруженное потайное заклепочное соединение двух круглых листов из Д16АТ диаметром 24 мм и толщиной 2 мм с модифицированным зенкованным отверстием под установку потайной заклепки с компенсатором АНУ0348 диаметром 4 мм.

Сформирована общая расчетная схема потайного заклепочного соединения для исследования всех рассматриваемых типов заклепок на основании их геометрических параметров и параметров отверстия под их установку. В качестве базового соединения было выбрано соединение двух круглых листов диаметром  $6d_{\text{закл}}$  для возможности реализации осесимметричной расчетной схемы рассматриваемых незагруженных потайных заклепочных соединений. Выбор осесимметричной расчетной схемы обусловлен возможностью в несколько раз уменьшить расчетное время, используемое для решения поставленного ряда задач.

С учетом осевой симметрии рассматриваемых заклепочных соединений и осевого характера приложения внешней нагрузки (усилия клепки) в качестве расчетной схемы исследовали сечение заклепочного соединения с соответствующими условиями закрепления (рис. 4). 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 жесткого подвижного штампа, моделирующего обжимки (рис. 4).

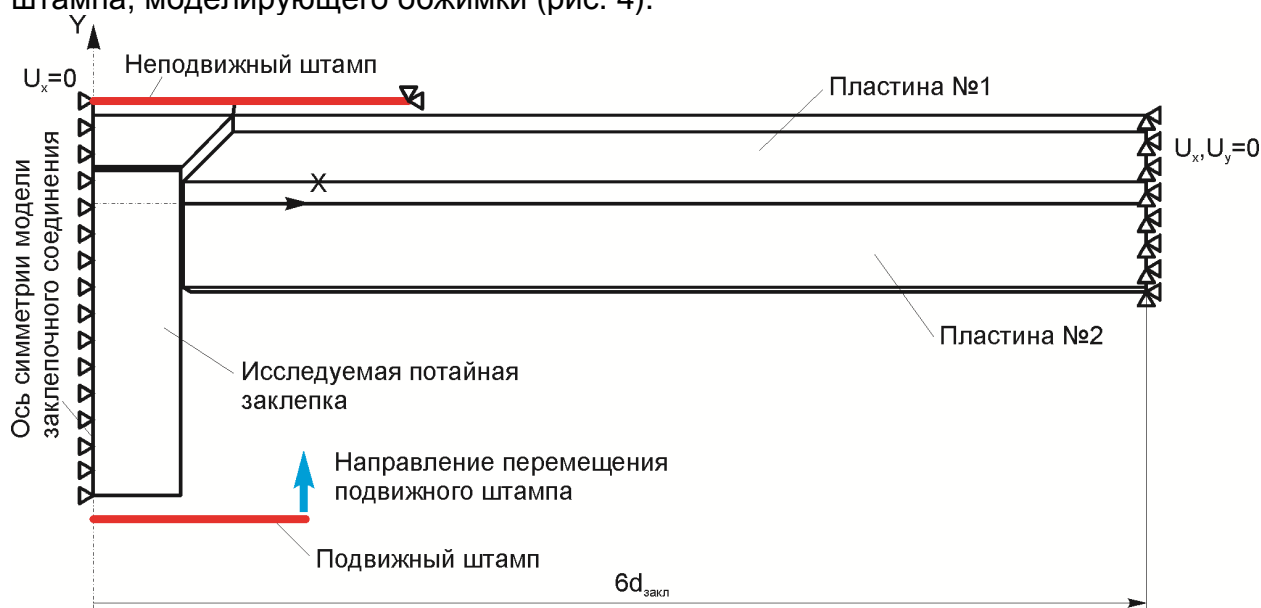


Рис. 4. Расчетная схема незагруженного потайного заклепочного соединения

На основании сформированной расчетной схемы незагруженного потайного заклепочного соединения были созданы конечно-элементные модели соединяемых листов и моделей рассматриваемых в работе потайных заклепок с компенсатором (рис. 5). Конечно-элементные модели заклепочных соединений состоят из плоских четырехузловых элементов PLANE 182 и контактных элементов TARGE 169 и CONTA 171, представленных в системе ANSYS [12]. Всего модели содержат в среднем 2500 конечных элементов.

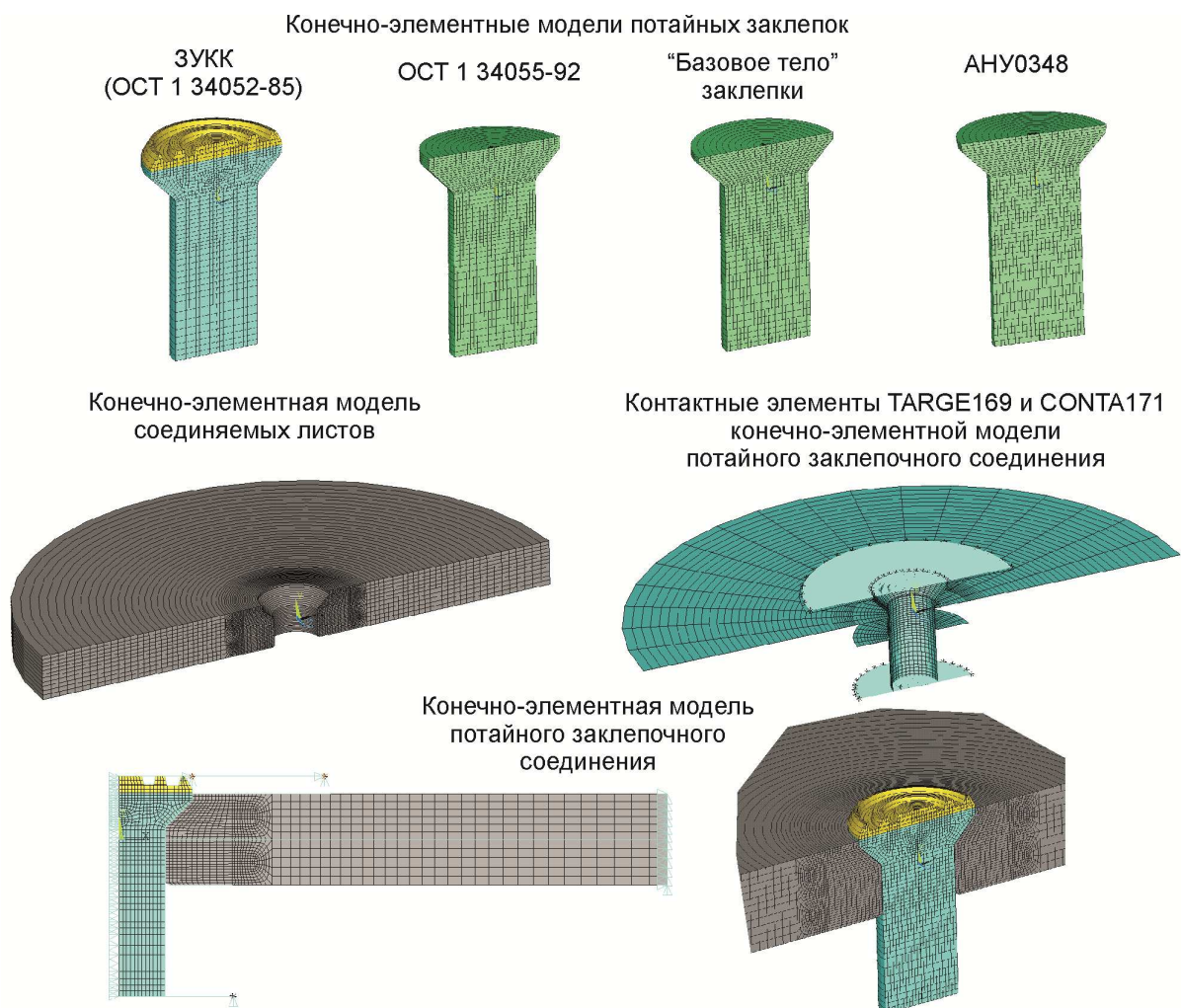


Рис. 5. Конечно-элементные модели исследуемых потайных заклепок с компенсатором, пластин и контактных элементов рассматриваемых потайных заклепочных соединений

В конечно-элементных моделях потайных заклепочных соединений использовали следующие характеристики материалов:

1) материал заклепок – алюминиевый сплав В65 с модулем упругости  $E = 71000 \text{ МПа}$  и коэффициентом Пуассона  $\mu = 0,3$ . Для описания поведения материала был выбран закон полилинейного изотропного упрочнения материала (MISO) [1] с учетом эффекта Баушингера;

2) материал листов, используемых для моделирования разрабатываемого заклепочного соединения, – алюминиевый сплав Д16АТ с модулем упругости  $E = 72000 \text{ МПа}$  и коэффициентом Пуассона  $\mu = 0,3$ . В расчетах была принята опция полилинейного кинематического упрочнения материала (KINH) [1], учитывающая эффект Баушингера.

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

- $\nu = 0,15$  – между заклепкой и поверхностью зенкованного отверстия;
- $\nu = 0,65$  – между заклепкой и штампами;
- $\nu = 0,94$  – между листами.

С помощью созданных конечно-элементных моделей моделировали процесс клепки и отвода штампов путем перемещения “подвижного” штампа

(см. рис. 4) до образования замыкающей головки потайной заклепки высотой  $0,4 \cdot d_{\text{закл}}$ , что соответствует требованиям ОСТ 1 34102-80 [8] и ТИ на выполнение заклепочных соединений.

Для проведения сравнительного анализа в работе были рассчитаны потайные заклепочные соединения, выполненные потайными заклепками ОСТ 1 34052-85 (ЗУКК) [6], ОСТ 1 34055-92 [7] и “базовым телом” разрабатываемой потайной заклепки АНУ0348 (схема его формирования описана в работе [5]), устанавливаемыми в зенкованное отверстие без модифицированного пояса (см. рис. 3, а).

На рис. 6 показано влияние типа потайной заклепки с компенсатором на величину выступа закладной головки над поверхностью соединяемого пакета.

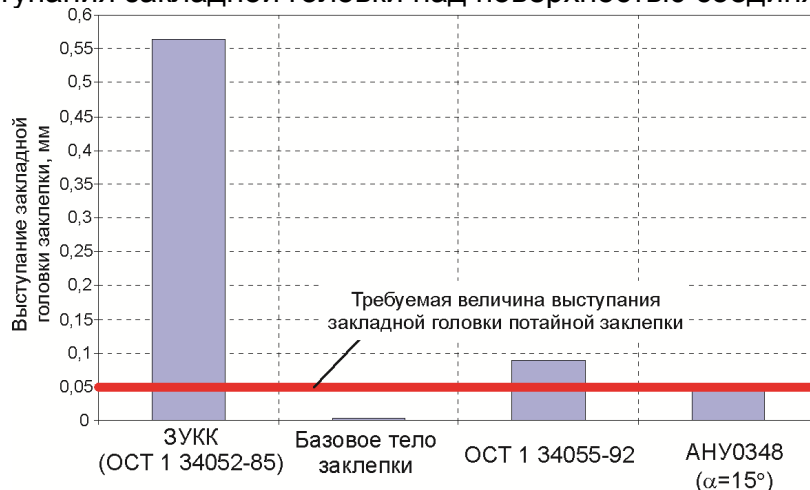


Рис. 6. Влияние типа потайной заклепки с компенсатором на величину выступа закладной головки над поверхностью соединяемого пакета

Характер распределения радиального натяга по толщине заклепочных соединений, выполненных потайными заклепками ОСТ 1 34052-85, ОСТ 1 34055-92, АНУ0348 и “базовым телом” заклепки, показан на рис. 7.

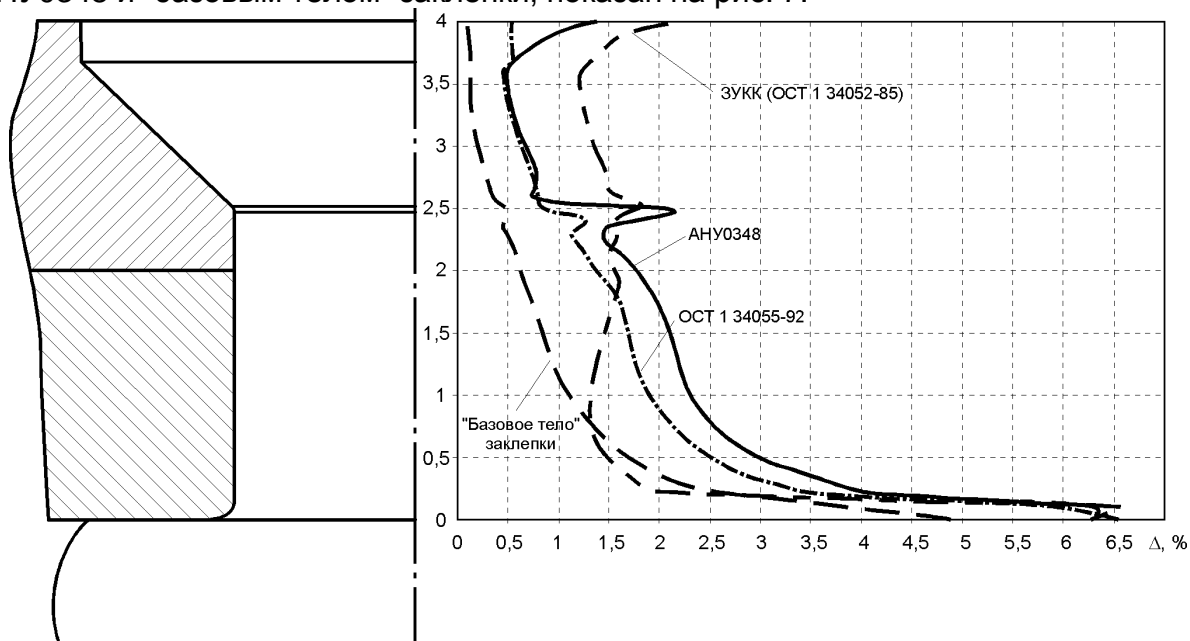


Рис. 7. Характер распределения радиального натяга по толщине заклепочных соединений, выполненных потайными заклепками ОСТ 1 34052-85, ОСТ 1 34055-92, АНУ0348 и “базовым телом” заклепки

Характер распределения эквивалентных напряжений и деформаций по контуру зенкованного отверстия в моделируемых потайных заклепочных соединениях, выполненных потайными заклепками ОСТ 1 34052-85, ОСТ 1 34055-92, АНУ0348 и “базовым телом” заклепки, показан на рис. 8.

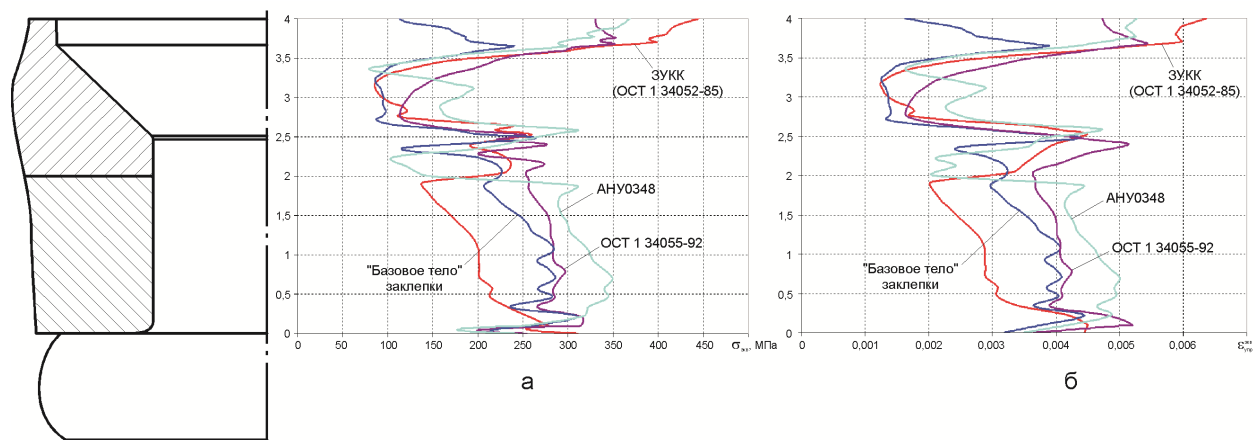


Рис. 8. Характер распределения параметров НДС по контуру зенкованного отверстия в моделируемых потайных заклепочных соединениях:

- а – эквивалентных напряжений;
- б – эквивалентных деформаций

Характер распределения упругой составляющей эквивалентной удельной энергии деформирования по контуру зенкованного отверстия в заклепочных соединениях, выполненных потайными заклепками ОСТ 1 34052-85, ОСТ 1 34055-92, АНУ0348 и “базовым телом”, показан на рис. 9.

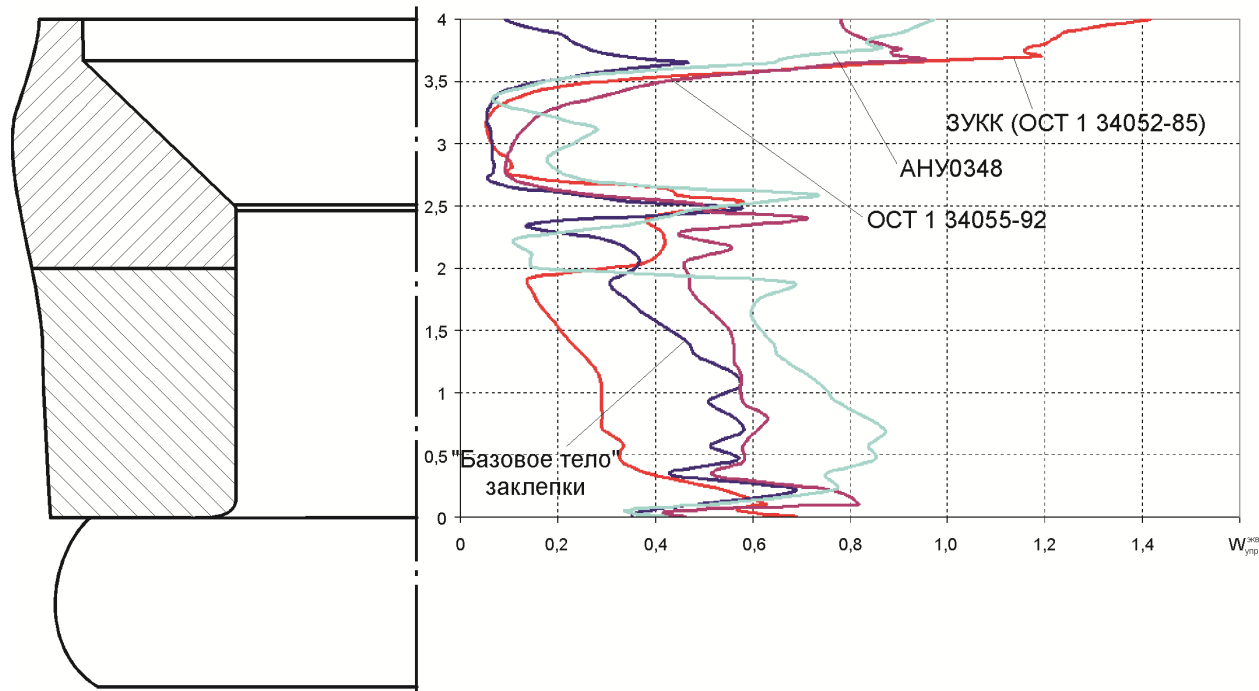
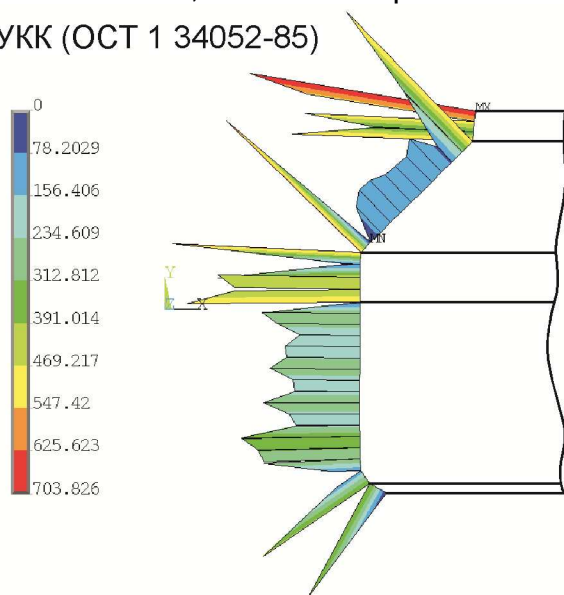


Рис. 9. Характер распределения упругой составляющей эквивалентной удельной энергии деформирования по контуру зенкованного отверстия в заклепочных соединениях, выполненных потайными заклепками ОСТ 1 34052-85, ОСТ 1 34055-92, АНУ0348 и “базовым телом”



Распределение контактного давления по контурузенкованного отверстия в заклепочных соединениях, выполненных потайными заклепками ОСТ 1 34052-85, ОСТ 1 34055-92, показано на рис. 10.

ЗУКК (ОСТ 1 34052-85)



ОСТ 1 34055-92

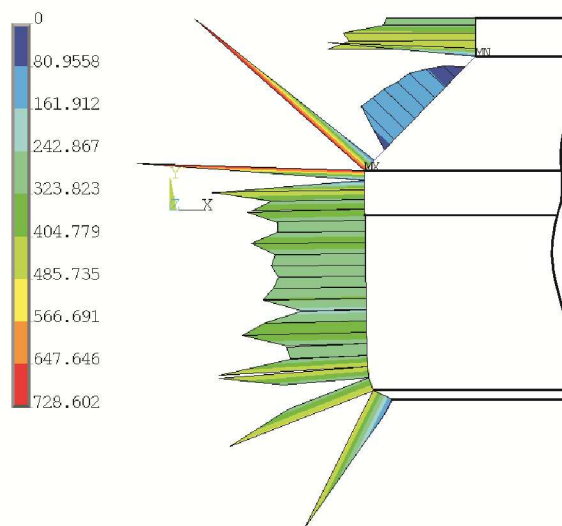
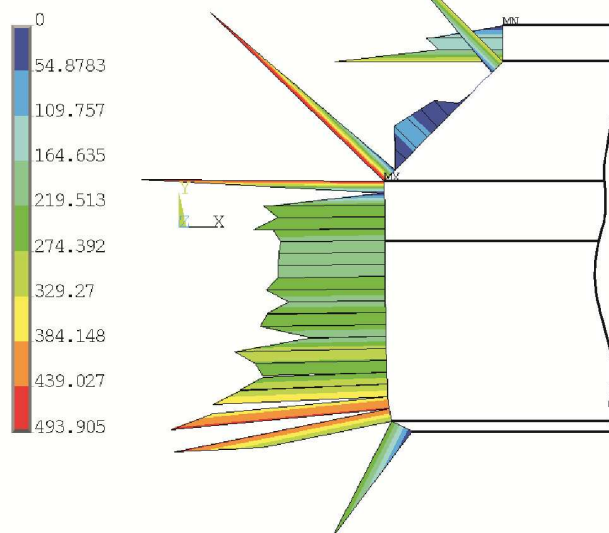


Рис. 10. Распределение контактного давления по контурузенкованного отверстия в заклепочных соединениях, выполненных потайными заклепками ОСТ 1 34052-85 и ОСТ 1 34055-92

Распределение контактного давления по контурузенкованного отверстия в заклепочных соединениях, выполненных потайными заклепками АНУ0348 и “базовым телом” заклепки, показано на рис. 11.

“Базовое тело” заклепки



АНУ0348 ( $\alpha=15^\circ$ )

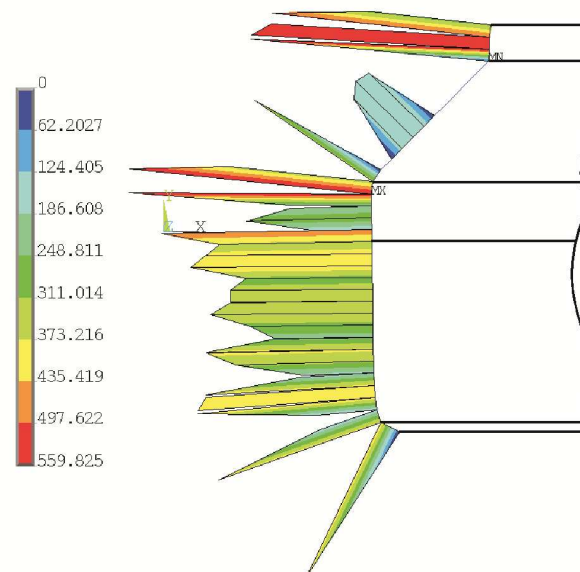


Рис. 11. Распределение контактного давления по контурузенкованного отверстия в заклепочных соединениях, выполненных потайной заклепкой АНУ0348 и “базовым телом” заклепки

Так как в работе моделировалась только нагрузка от усилия клепки, основными параметрами, рассматриваемыми при анализе НДС заклепочного соединения, являются величина радиального натяга по контуру зенкованного отверстия, высота выступания закладной головки потайной заклепки (качество внешней поверхности) и величина контактных давлений по всей толщине заклепочного соединения.

Анализ полученных результатов расчета потайных заклепочных соединений показал, что наличие большого количества материала на замыкающей головке потайной заклепки в виде компенсатора позволяет в результате клепки реализовать в зоне цилиндрического пояса зенкованного отверстия и зоне конуса с углом  $90^\circ$  большие значения радиального натяга. Так, в заклепочном соединении, выполненном потайной заклепкой по ОСТ 1 34052-85, максимальное значение радиального натяга в зоне цилиндрического пояса зенкованного отверстия достигает величины порядка 2,2%, в зоне конуса с углом  $90^\circ$  – 1,5%. Для заклепки АНУ0348 эта величина составляет 1,35 и 0,7%. В то же время величина натяга в середине пакета для заклепки ОСТ 1 34052-85 составляет в среднем 1,5%, когда в заклепочном соединении, выполненном заклепкой АНУ0348, – 2,3%.

Величина выступания закладной головки заклепки ОСТ 1 34052-85 превышает предельно допустимое значение в 11,3 раза и составляет 0,565 мм.

Величина выступания закладной головки потайной заклепки АНУ0348 превышает предельно допустимое значение на 4% и составляет 0,052 мм.

Величина максимальных значений контактных давлений в зоне цилиндрического пояса зенкованного отверстия конуса с углом  $90^\circ$  в заклепочном соединении, выполненном заклепкой по ОСТ 1 34052-85, превышает в 1,3 – 1,35 раза давления, получаемые при выполнении заклепочного соединения потайной заклепкой АНУ0348. В то же время среднее значение давлений в зоне отверстия выше в 1,17 раза для заклепочного соединения, выполненного заклепкой АНУ0348. Проанализировав картину распределения контактных давлений в рассматриваемых заклепочных соединениях, можно сделать вывод, что заклепка ОСТ 1 34052-85 реализует более приемлемую картину распределения контактных давлений по контуру зенкованного отверстия, чем заклепка АНУ0348. Из анализа видно, что из-за наличия компенсатора в заклепке АНУ0348 в зоне конуса с углом  $90^\circ$  зона контакта заклепки с поверхностью гнезда носит локальный характер, что существенно влияет на характеристики герметичности.

На основании полученных данных для улучшения параметров, рассматриваемых при анализе НДС заклепочного соединения, выполненного потайной заклепкой с компенсатором, было предложено заменить зенкованное отверстие с цилиндрическим пояском ( $\beta=0^\circ$ ) модифицированным (см. рис. 3, б) с углами конусности  $\beta$ , равными 5 и  $10^\circ$ . Для всех вариантов углов конусности модифицированного зенкованного отверстия были рассмотрены варианты выполнения заклепочного соединения потайной заклепки АНУ0348 с углами конусности компенсатора 15, 20, 25 и  $30^\circ$ .

В результате моделирования всех рассматриваемых вариантов заклепочного соединения с модифицированным зенкованным отверстием и потайной заклепкой АНУ0348 проанализировано влияние угла конусности  $\beta$  модифицированного зенкованного отверстия и угла конусности компенсатора  $\alpha_{\text{конус}}$  потайной заклепки на величину радиального натяга по контуру отверстия пакета, величину выступания закладной головки после клепки и на величину и характер распределения контактных давлений в заклепочном соединении.

Влияние значения угла конусности модифицированного гнезда и угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора на величину выступания закладной головки потайной заклепки АНУ0348 показано на рис. 12.

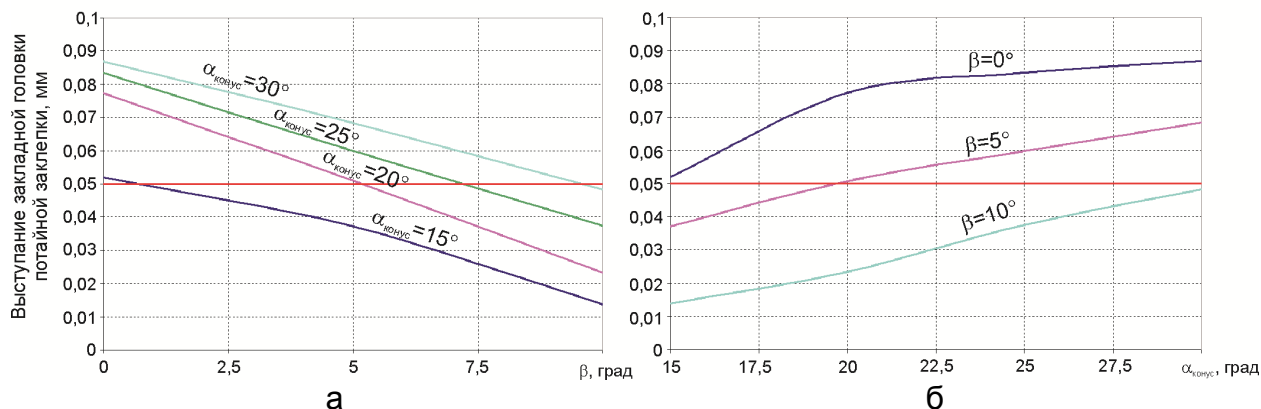


Рис. 12. Выступление закладной головки потайной заклепки АНУ0348:

а – при постоянном угле конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 для различных углов конусности  $\beta$  модифицированного гнезда;

б – при постоянном угле конусности  $\beta$  модифицированного гнезда для различных углов конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348

Влияние значения угла конусности  $\beta$  модифицированного гнезда и угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на значение максимального натяга в рассматриваемых зонах модифицированного зенкованного отверстия под установку заклепки АНУ0348 показано на рис. 13 – 14.

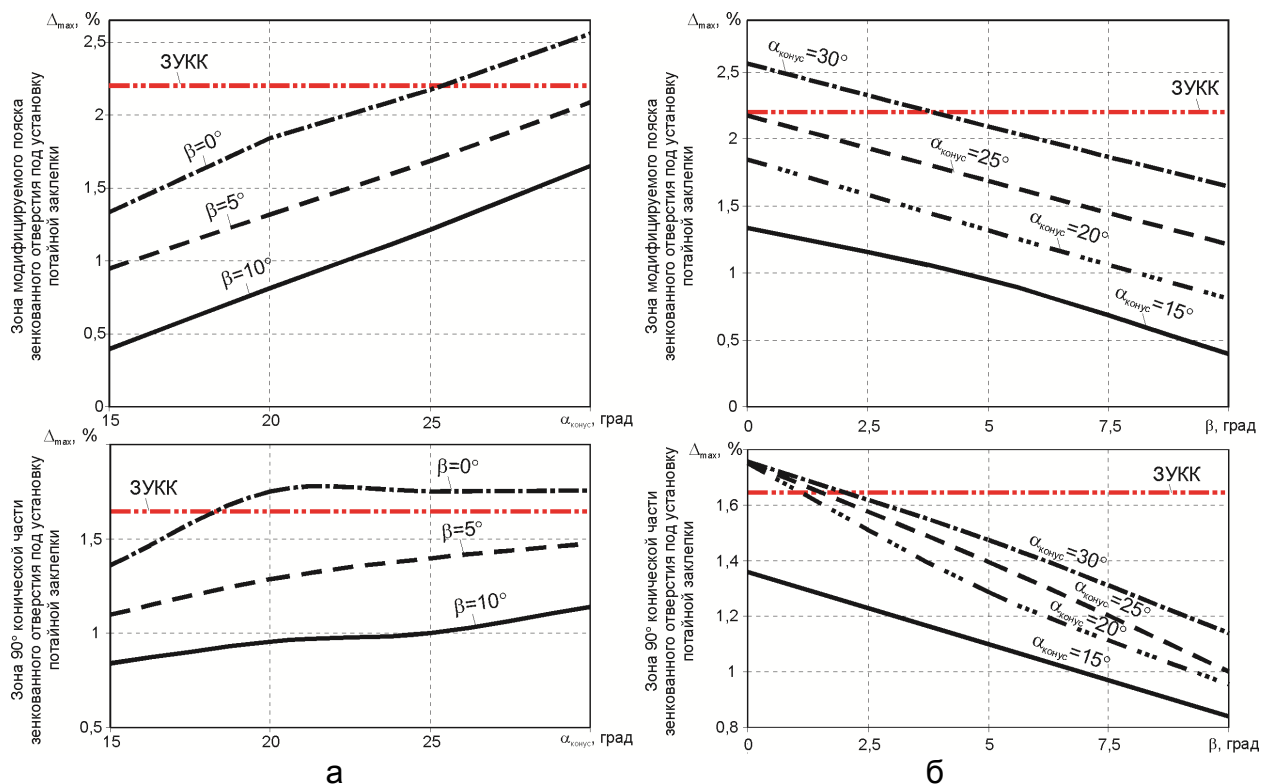


Рис. 13. Влияние значения угла конусности  $\beta$  модифицированного гнезда и угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на величину максимального натяга в зоне зенкованного гнезда:

а – при постоянном угле конусности  $\beta$  модифицированного гнезда для различных углов конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348;

б – при постоянном угле конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 для различных углов конусности  $\beta$  модифицированного гнезда

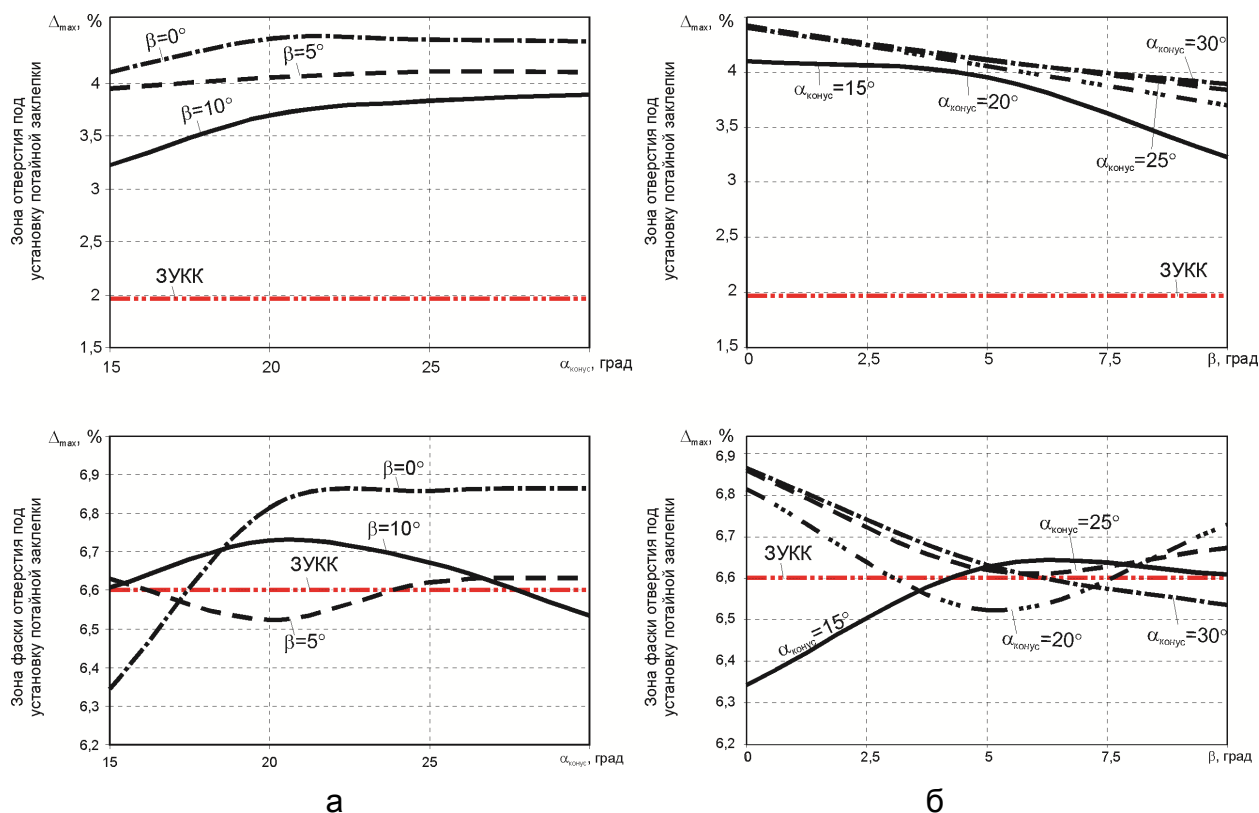


Рис. 14. Влияние значения угла конусности  $\beta$  модифицированного гнезда и угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на значение максимального натяга в зоне отверстия и фаски заклепочного соединения:

- а – при постоянном угле конусности  $\beta$  модифицированного гнезда для различных углов конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348;
- б – при постоянном угле конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 для различных углов конусности  $\beta$  модифицированного гнезда

Влияние значения угла конусности  $\beta$  модифицированного гнезда и угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на величину средних значений натяга в рассматриваемых зонах модифицированного зенкованного отверстия под установку заклепки АНУ0348 показано на рис. 15.

Влияние значения угла конусности  $\beta$  модифицированного гнезда и угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на величину максимальных контактных давлений в рассматриваемых зонах модифицированного зенкованного отверстия под установку заклепки АНУ0348 показано на рис. 16.

Влияние значения угла конусности  $\beta$  модифицированного гнезда и угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на величину средних контактных давлений в рассматриваемых зонах модифицированного зенкованного отверстия под установку заклепки АНУ0348 показано на рис. 17.

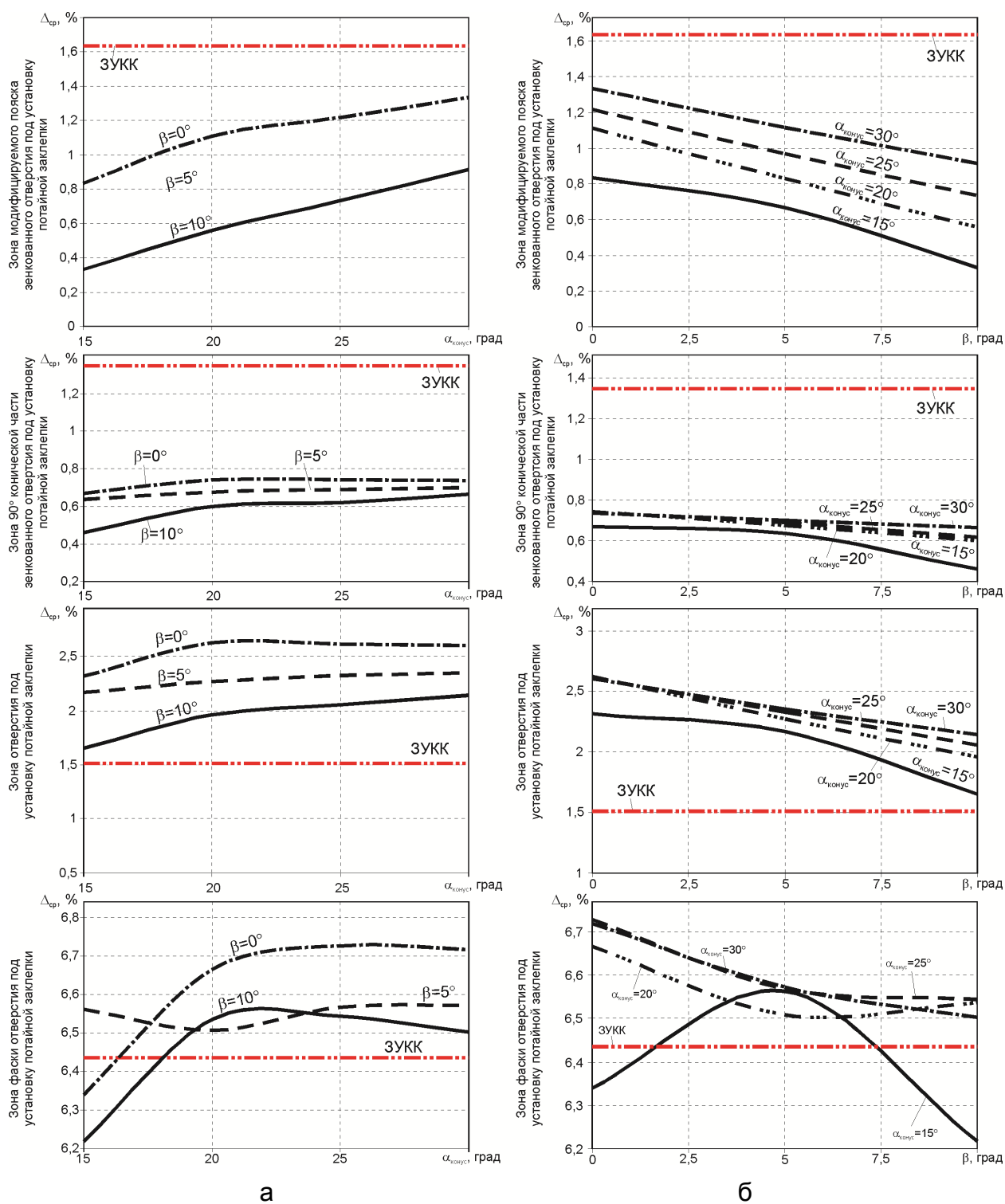


Рис. 15. Влияние значения угла конусности  $\beta$  модифицированного гнезда и угла конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на величину средних значений натяга в рассматриваемых зонах модифицированного зенкованного отверстия под установку заклепки АНУ0348:

- а – при постоянном угле конусности  $\beta$  модифицированного гнезда для различных углов конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348;
- б – при постоянном угле конусности  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 для различных углов конусности  $\beta$  модифицированного гнезда

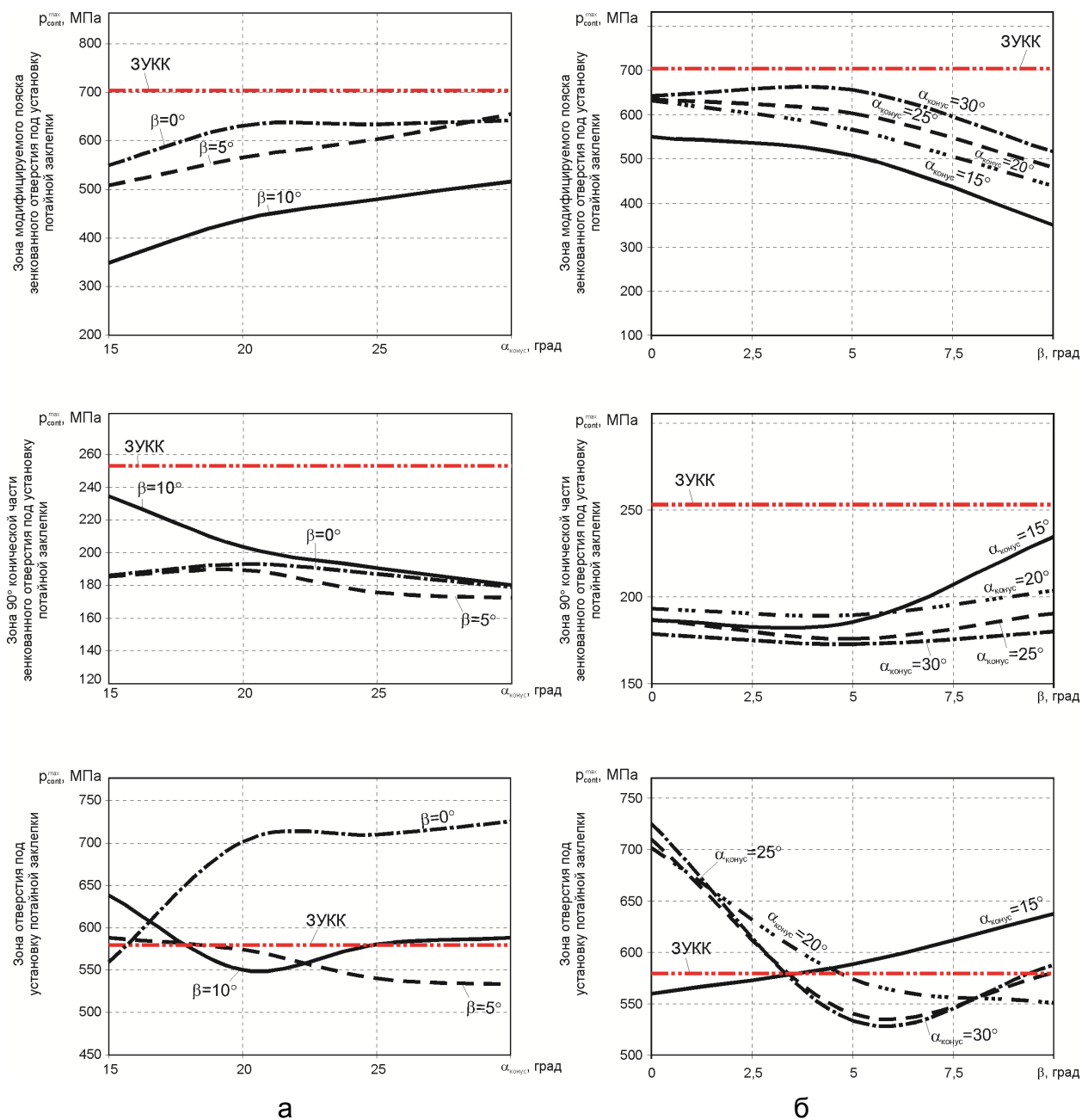


Рис. 16. Влияние значения угла конусности  $\beta$  модифицированного гнезда и угла конусности  $\alpha_{конус}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на величину максимальных контактных давлений в рассматриваемых зонах модифицированного зенкованного отверстия под установку заклепки АНУ0348:  
 а – при постоянном угле конусности  $\beta$  модифицированного гнезда для различных углов конусности  $\alpha_{конус}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348;  
 б – при постоянном угле конусности  $\alpha_{конус}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 для различных углов конусности  $\beta$  модифицированного гнезда

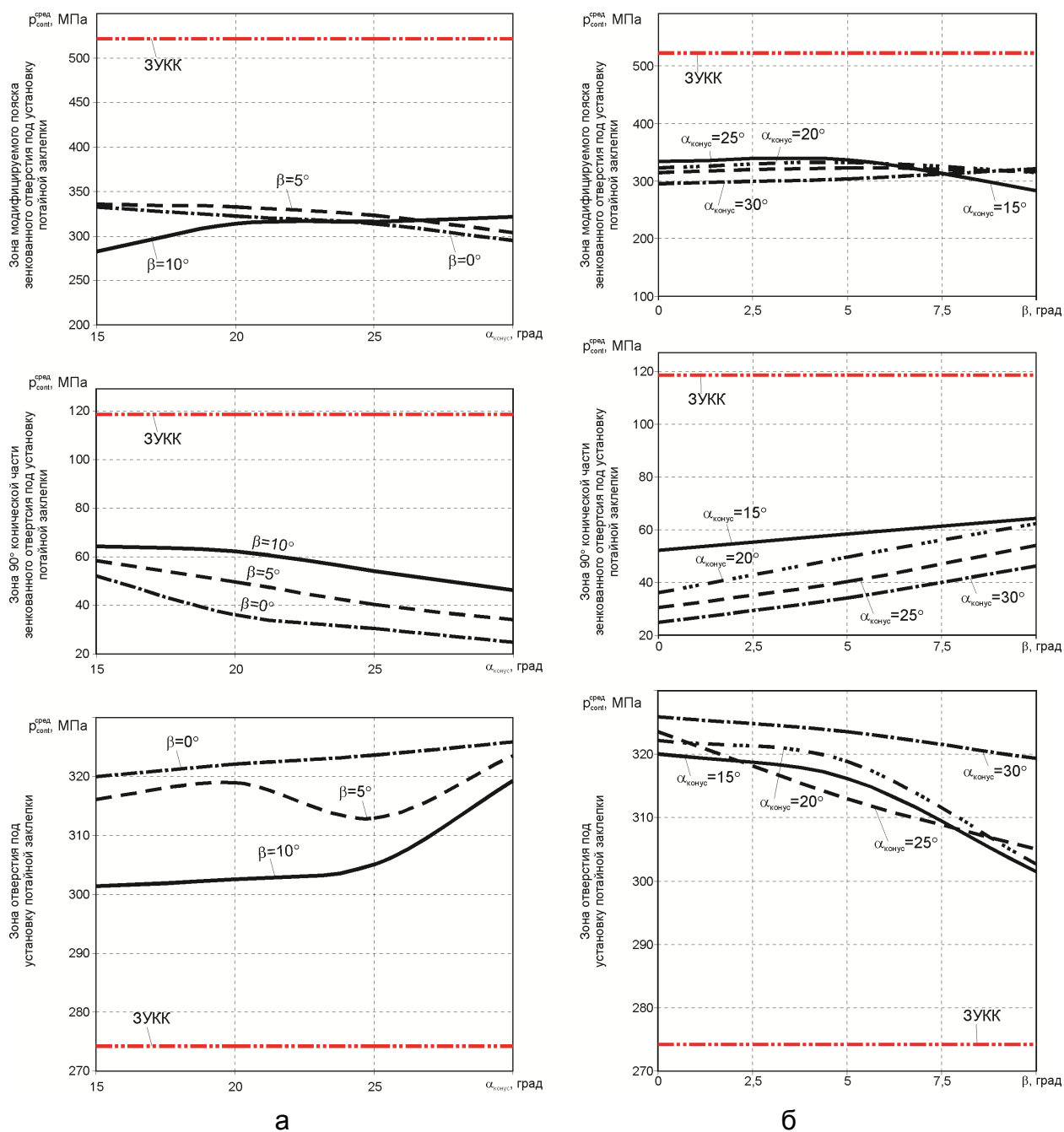


Рис. 17. Влияние значения угла конусности  $\beta$  модифицированного гнезда и угла конусности  $\alpha_{конус}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 на величину средних контактных давлений в рассматриваемых зонах модифицированного зенкованного отверстия под установку заклепки АНУ0348:

- а – при постоянном угле конусности  $\beta$  модифицированного гнезда для различных углов конусности  $\alpha_{конус}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348;
- б – при постоянном угле конусности  $\alpha_{конус}$  компенсатора потайной заклепки АНУ0348 для различных углов конусности  $\beta$  модифицированного гнезда

На рис. 18 – 19 показан характер распределения эквивалентных напряжений Мизеса в рассматриваемых потайных заклепочных соединениях.

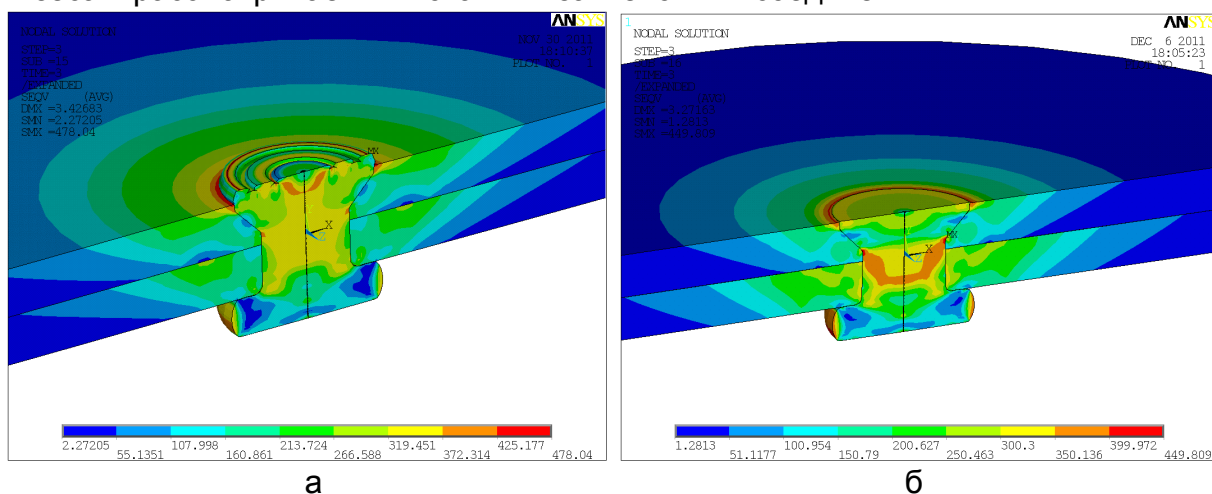


Рис. 18. Характер распределения эквивалентных напряжений Мизеса в потайном заклепочном соединении, выполненном потайной заклепкой, установленной в зенкованное отверстие с цилиндрическим пояском:  
 а – ОСТ 1 34052-85;  
 б – АНУ0348 с углом конусности компенсатора 15°

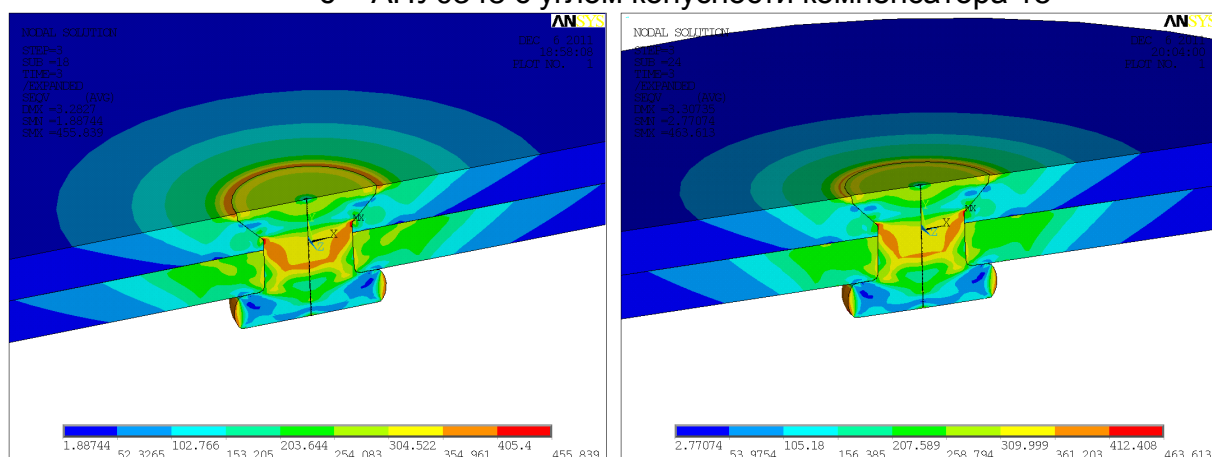


Рис. 19. Характер распределения эквивалентных напряжений Мизеса в потайном заклепочном соединении:  
 а – заклепка АНУ0348 с углом конусности компенсатора 20°, установленная в модифицированное зенкованное отверстие с углом конусности  $\beta=5^\circ$ ;  
 б – заклепка АНУ0348 с углом конусности компенсатора 30°, установленная в модифицированное зенкованное отверстие с углом конусности  $\beta=10^\circ$

В результате анализа полученных данных определены сочетания значений угла конусности модифицированного зенкованного отверстия и угла конусности компенсатора потайной заклепки АНУ0348, обеспечивающие требуемое выступание закладной головки над поверхностью соединяемого пакета после процесса клепки (см. рис. 12):

- угол конусности модифицированного гнезда  $\beta=5^\circ$  в сочетании с углом конусности компенсатора потайной заклепки АНУ0348  $\alpha_{\text{конус}}=20^\circ$ ;
- угол конусности модифицированного гнезда  $\beta=7,5^\circ$  в сочетании с углом конусности компенсатора потайной заклепки АНУ0348  $\alpha_{\text{конус}}=25^\circ$ ;



- угол конусности модифицированного гнезда  $\beta=10^\circ$  в сочетании с углом конусности компенсатора потайной заклепки АНУ0348  $\alpha_{\text{конус}}=30^\circ$ .

### Выводы

1. Разработан метод анализа характеристик локального НДС элементов незагруженного потайного заклепочного соединения с модифицированным гнездом под установку прогрессивной потайной заклепки с компенсатором АНУ0348, не требующей фрезерования закладных головок после клепки.

2. Проведен сравнительный анализ НДС в элементах заклепочных соединений выполненных потайными заклепками ОСТ 1 34052-85 (ЗУКК), ОСТ 1 34055-92 и “базовым телом” разрабатываемой потайной заклепки (схема его формирования описана в работе [4]), устанавливаемыми в зенкованное отверстие без модифицированного пояска. Сравнительный анализ показал, что наличие большого количества материала на замыкающей головке потайной заклепки в виде компенсатора позволяет в результате клепки реализовать в зоне цилиндрического пояска зенкованного отверстия и зоне конуса с углом  $90^\circ$  большие значения радиального натяга. Так, в заклепочном соединении, выполненном потайной заклепкой по ОСТ 1 34052-85, максимальное значение радиального натяга в зоне цилиндрического пояска зенкованного отверстия достигает величины порядка 2,2%, в зоне конуса с углом  $90^\circ$  – 1,5%. Для заклепки АНУ0348 эта величина составляет 1,35 и 0,7%. В то же время величина натяга в середине пакета для заклепки ОСТ 1 34052-85 составляет в среднем 1,5%, когда в заклепочном соединении, выполненном заклепкой АНУ0348, – 2,3%. Величина выступания закладной головки заклепки ОСТ 1 34052-85 превышает предельно допустимое значение в 11,3 раза и составляет 0,565 мм. Величина выступания закладной головки потайной заклепки АНУ0348 превышает предельно допустимое значение на 4% и составляет 0,052 мм. Величина максимальных значений контактных давлений в зоне цилиндрического пояска зенкованного отверстия конуса с углом  $90^\circ$  в заклепочном соединении, выполненном заклепкой по ОСТ 1 34052-85, превышает в 1,3 – 1,35 раза давления, получаемые при выполнении заклепочного соединения потайной заклепкой АНУ0348. В то же время среднее значение давлений в зоне отверстия выше в 1,17 раза для заклепочного соединения выполненного заклепкой АНУ0348.

3. На основании полученных данных для улучшения параметров, рассматриваемых при анализе НДС заклепочного соединения, выполненного потайной заклепкой АНУ0348 с компенсатором, предложено заменить зенкованное отверстие с цилиндрическим пояском ( $\beta=0^\circ$ ) модифицированным с углами конусности  $\beta$ , равными 5 и  $10^\circ$ . Для всех вариантов выбранных углов конусности модифицированного зенкованного отверстия были рассмотрены варианты выполнения заклепочного соединения потайной заклепки АНУ0348 с углами конусности компенсатора 15, 20, 25 и  $30^\circ$ .

4. Анализ полученных результатов показал, что с точки зрения реализации наибольшего значения максимального и среднего натягов в зоне модифицированного пояска зенкованного отверстия наиболее оптимальными являются параметры конусности зенкованного отверстия  $\beta=10^\circ$  и компенсатора потайной заклепки  $\alpha_{\text{конус}}=30^\circ$ . При сочетании данных параметров зенкованного отверстия и компенсатора потайной заклепки АНУ0348 в сравнении со стандартными параметрами потайной заклепки АНУ0348 и гнезда под ее установку величина максимального натяга выросла в 1,24 раза, среднего –

в 1,1 раза. В то же время для данного сочетания параметров наблюдается уменьшение контактных давлений в зоне модифицированного пояса зенкованного отверстия на 33 МПа – для максимальных значений контактного давления и на 12 МПа – для средних. Наиболее оптимальными с точки зрения контактных давлений является сочетание  $\beta=5^\circ$ ,  $\alpha_{\text{конус}}=20^\circ$ . При данном сочетании параметров наблюдается незначительный рост контактных давлений – на 15 МПа.

В зоне конуса  $90^\circ$  зенкованного отверстия с ростом угла конусности зенкованного отверстия  $\beta$  наблюдается уменьшение величины максимального натяга для всех вариантов угла конусности компенсатора потайной заклепки АНУ0348. Средние же значения натяга для всех рассматриваемых выше сочетаний параметров остаются практически неизменными и составляют 0,67%. При изменении параметров  $\beta$  и  $\alpha_{\text{конус}}$  для рассматриваемых сочетаний, средние и максимальные значения контактных давлений остаются неизменными и составляют для максимального значения контактного давления 189 МПа, для среднего значения – 50 МПа.

В зоне отверстия с ростом параметров наблюдается незначительное уменьшение максимальных и средних значений радиального натяга – в среднем на 1% с каждым увеличением значения угла  $\beta$ . Максимальные контактные напряжения в зоне отверстия незначительно повышаются с ростом угла конусности зенкованного отверстия. На средние значения контактных давлений изменение параметров  $\beta$  и  $\alpha_{\text{конус}}$  не влияет. Величина средних контактных давлений в зоне отверстия составляет 320 МПа.

5. Результаты проведенных исследований рекомендуется использовать в дальнейших исследованиях усталостных характеристик заклепочных соединений, выполненных потайной заклепкой АНУ0348 с компенсатором в качестве технологических отклонений при изготовлении соединений.

### Список литературы

1. Авиационные материалы: в 8 т. [Текст] / под общ. ред. д-ра техн. наук Р.Е. Шалина. – М.: ОНТИ, 1982. – Т.4: Алюминиевые и бериллиевые сплавы. – 627 с.
2. Александров, В.Г. Авиационный технический справочник [Текст]. – Изд. 2-е / В.Г. Александров, А.В. Майоров. – М.: Транспорт, 1975. – 430 с.
3. Гребеников, А.Г. Методология интегрированного проектирования и моделирования сборных самолетных конструкций [Текст] / А.Г. Гребеников. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2006. – 532 с.
4. Гребеников, А.Г. Анализ влияния геометрических параметров гнезда под установку прогрессивной потайной заклепки АНУ0348 на характеристики локального НДС в пластине с зенкованным отверстием [Текст] / А.Г. Гребеников, Д.Ю. Дмитренко, Д.В. Хмелик // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 49. – Х., 2011. – С. 248 - 262.
5. Разработка прогрессивной потайной заклепки с коническим компенсатором для выполнения соединений силовых элементов крыла [Текст] / Д.С. Кива, С.А. Бычков, А.Г. Гребеников и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 37. – Х., 2007. – С. 183 - 201.
6. ОСТ 1 34052-85. Заклепки с потайной головкой  $\angle 90^\circ$  с корончатым компенсатором.

7. ОСТ 1 34055-92. Заклепки с потайной головкой  $\angle 90^\circ$  с цилиндрическим компенсатором.
8. ОСТ 1 340102-80. Диаметры отверстий под заклепки, размеры замыкающих головок и подбор длины.
9. ПИ 249-78. Клепка металлических конструкций заклепками по ГОСТ 14797-75 – ГОСТ 14803 75. – М.: НИАТ, 1978. – 52 с.
10. ТИ 36-21-86. Выполнение высокоресурсных герметичных соединений заклепками с компенсатором. – К.: КМЗ, 1986. – 15 с.
11. ТИ 36-53-93. Выполнение соединений заклепками по ОСТ 1 34055-92. – К.: КМЗ, 1993. – 8 с.
12. ANSYS Analysis Guide. Structural Analysis Guide. Chapter 8. Nonlinear structural analysis. 001087. 4th Edition. SAS IP©.

**Рецензент:** кандидат технических наук, доцент Василевский Е.Т.,  
Государственное предприятие “АНТОНОВ”

Поступила в редакцию 18.10.11

### **Аналіз впливу геометричних параметрів модифікованого зенкованого отвору та кута конусності компенсатора потайної заклепки АНУ0348 на характеристики локального НДС елементів незавантаженого потайного заклепкового з'єднання**

Проведено аналіз впливу кута конусності  $\beta$  модифікованого зенкованого отвору та кута конусності  $\alpha_{\text{конус}}$  компенсатора потайної заклепки АНУ0348 на характеристики локального НДС елементів незавантаженого потайного заклепкового з'єднання.

**Ключові слова:** потайна заклепка, потайне гніздо, компенсатор, кут конусності пояса зенкованого отвору, кут конусності компенсатора потайної заклепки, характеристики НДС, якість зовнішньої поверхні, натяг, контактний тиск, питома енергія деформування.

### **Analysis of influence produced by modified countersunk hole geometrical parameters and tapering angle of ANU0348 countersunk rivet compensator on local deflected mode characteristics of unloaded countersunk riveted joint elements**

Influence produced by tapering angel  $\beta$  of modified countersunk hole and tapering angel  $\alpha_{\text{cone}}$  of ANU0348 countersunk rivet compensator on local deflected mode characteristics of unloaded countersunk riveted joint element has been subjected to analysis.

**Keywords:** countersunk rivet, countersunk hole, compensator, tapering angle of countersunk hole band, tapering angle of countersunk rivet compensator, deflected mode characteristics, outer surface quality interference, contact pressure, specific deformation energy.