

Тема: «Конструкция самолётов»

*Курс лекций для выпускников ВУЗов и специалистов неавиационного
профиля ЗАО «Инженерный Центр ИКАР»*



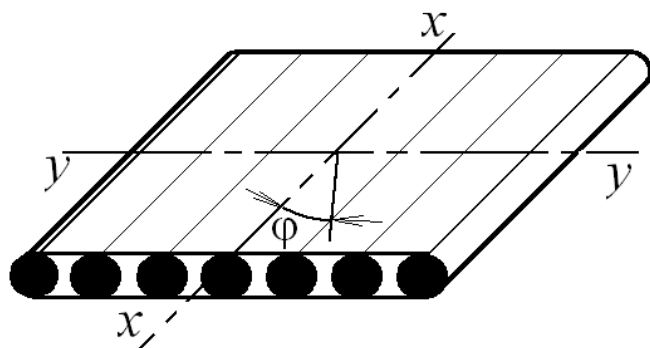
Часть 5

Ендогур Аскольд Иванович,

Профессор,

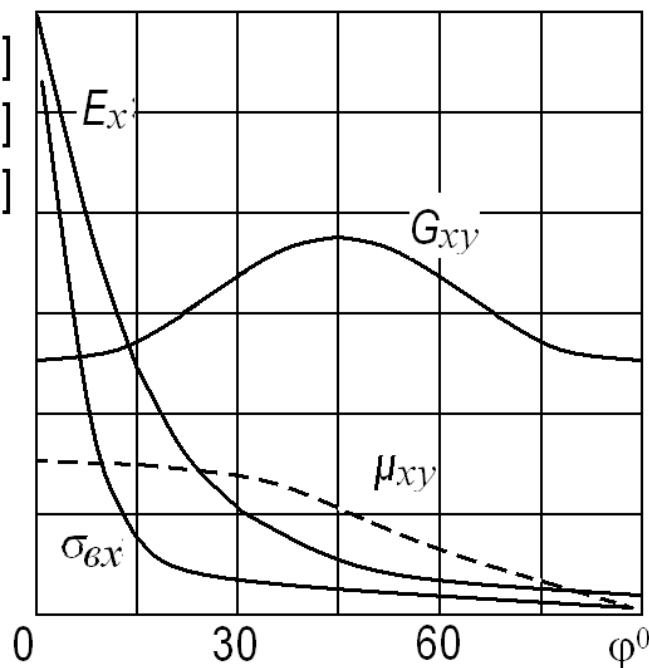
Доктор технических наук,

Действительный член Академии проблем качества



а)

$G_{xy} \times 10^3$ [МПа]
 $E_x \times 10^2$ [МПа]
 $\sigma_{bx} \times 10$ [МПа]
 $\mu_{xy} \times 10$



б)

Зависимость характеристик ПКМ от направления армирующих волокон

Несмотря на имеющиеся недостатки и сложности, применение КМ в авиационных конструкциях позволяет значительно уменьшить массу и в ряде случаев улучшить их эксплуатационные характеристики.

1. КМ обладают высокими значениями удельной прочности материала:

в слое с однонаправленными волокнами в 3...4 раза больше, чем у металлических материалов. В слоях с различной ориентацией волокон – до

2-х раз, однако, это преимущество значительно уменьшается при нерациональной конструкции стыковых соединений (п.6 слайда 4).

2. При нагружении вдоль однонаправленных волокон, практически отсутствует явление ползучести, исключение составляют органопластики,

3. КМ характеризуются высокой стойкостью к циклическим нагружениям. Обладают высокой вибропрочностью.

4. Структура композиционного материала препятствует развитию трещин, так как трещина, зародившаяся в матрице, останавливается при достижении границы матрица–волокно.

1. Анизотропия (неоднородность) характеристик в различных направлениях.

2. Низкие механические свойства волокнистых однонаправленных КМ при поперечном нагружении и сдвиге

3. Значения разрушающих напряжений при сжатии и растяжении у КМ могут значительно различаться. При сжатии происходит потеря устойчивости волокон наполнителя, в результате чего происходит разрушение матрицы и расслоение КМ.

4. Разброс характеристик КМ выше, чем у металлов, вариации прочности и жесткости могут составлять соответственно 5-15%, при сжатии до 25%.

5. Нестабильность несущих свойств конструкций из КМ требует введения дополнительного коэффициента безопасности $f_{доп}=1,15...1,25$, особенно для сжатых волокон.

6. Сложность конструирования стыковых зон со смежными конструкциями может свести на нет преимущества (п 1 слайда 3) высокой удельной прочности. Для отработки стыковых соединений требуется большой объем экспериментально-исследовательских работ и испытаний опытных конструкций.

7. Следует учитывать совместимость материалов матриц, наполнителей и контактируемых материалов.

8. Условия эксплуатации (температура и влажность среды) оказывают существенное влияние на свойства КМ.

Наполнители и матрицы КМ

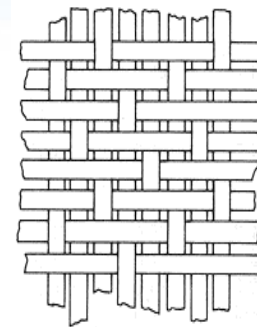
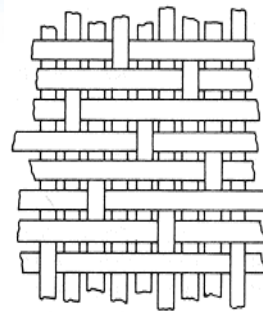
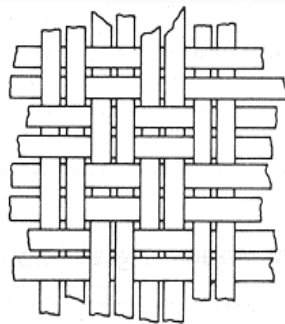
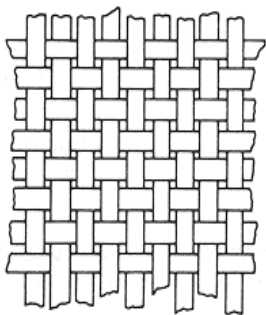
Сравнительные характеристики наполнителей (волокон)

Материал	Плотность ρ г/см ³ .	Модуль упругости E МПа	Предел прочности при растяжении σ_B МПа	Удельный модуль упругости E/ ρ МПа см ³ /г	Удельная прочность σ/ρ МПа см ³ /г
Стекловолокно	2,5	89000	3500	36000	140000
Углеволокно:					
- высокомодульное	1,95	400000	2100	203000	108000
- высокопрочное	2	260000	3300	147000	187000
Бороволокно	2,5	400000	3500	160000	152000
Органоволокно	1,45	120000	2800	83000	193000
Стальная проволока	7,8	210000	2900	27000	37000

В качестве матричных материалов, обеспечивающих монолитность КМ и равномерное распределение нагрузки по объему материала, используют:

- матрицы из отверждаемых эпоксидных смол или олигомеров; их рабочая температура соответствует температуре их полимеризации – 150...160°C;
- для бороволокон – матрицы из легких металлов и сплавов, например алюминия, рабочие температуры в зависимости от сплава могут достигать 400...500°C.

1. Хаотически армированные композиты.
2. Слоистые композиты с плоской схемой армирования.
3. Композиты, армированные тканями (лентами).
4. Композиты с пространственным армированием (переплетением волокон).



Основные варианты плетения матриц.

Сравнительные характеристики КМ с содержанием волокон 40...60%, рабочая температура 60°...80 °С

Характеристики материала	Отечественные				Зарубежные	
	КМУ-4	КМУ-7	КМУ-9	КМУ-13	T300/Narmco 5208	Crafil x-A-S
σ_B , МПа	1000	1650	1500	1650	1510	1550
E_B , МПа	125000	145000	145000	145000	144000	140000
σ_{-B} , МПа	800	1350	1200	1200	1130	1400
ρ , г/см ³	40	85	94,5	-	100	-
	1,6	1,45-1,5	1,45-1,5	-	1,5-1,6	1,5-1,6

$\tau_g=40...80$ МПа в зависимости от ориентации слоев волокон в пакете КМ. Как правило, в конструкции детали пакет композиционного материала составлен из слоев КМ с направлениями волокон под углами 0° , $\pm 45^\circ$, 90° .

Методы изготовления элементов конструкции

ТРАДИЦИОННЫЙ – конструкцию изготавливают, собирая из полуфабрикатов.

СОВМЕЩЕННЫЙ (однооперационный) – конструкцию собирают и полимеризуют (отверждают) непосредственно из исходных компонентов композиции *препрегов*, минуя изготовление полуфабрикатов.

ПОЛУСОВМЕЩЕННЫЙ технологический процесс от совмещенного отличается тем, сначала осуществляют полимеризацию одной из деталей (например, обшивки панели), а затем выполняют окончательную сборку панели, присоединяя изготовленную деталь совместно с полимеризацией другой детали (стрингеров) из *препрега*.

Прессование

ПРЕССОВАНИЕМ в пресс-форме изготавливают детали из КМ с хаотически расположенными армирующими волокнами, а также детали, имеющие слоистую структуру с определенной ориентацией волокон,

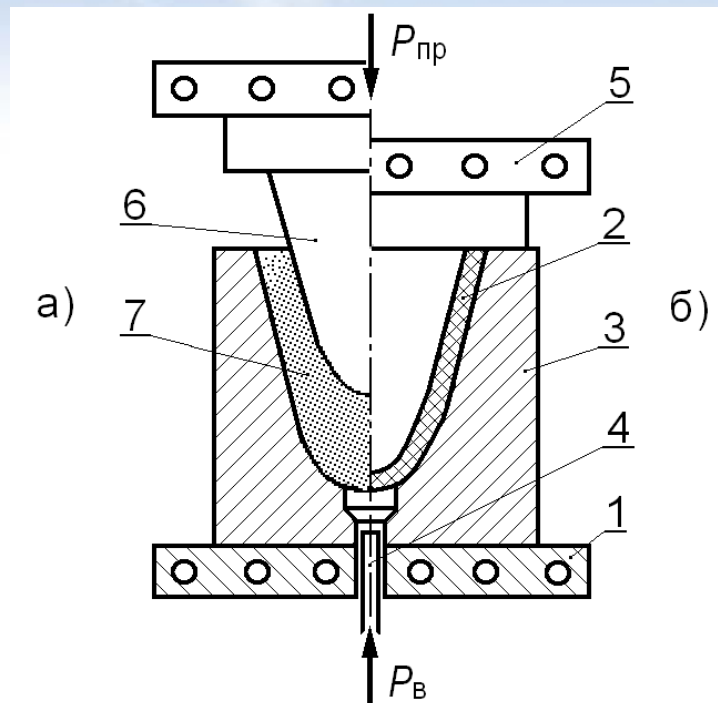


Схема прессования

1 – плита обогрева; 2 – готовая деталь; 3 – прессформа; 4 – выталкиватель; 5, 6 – пуансон; 7 – полуфабрикат

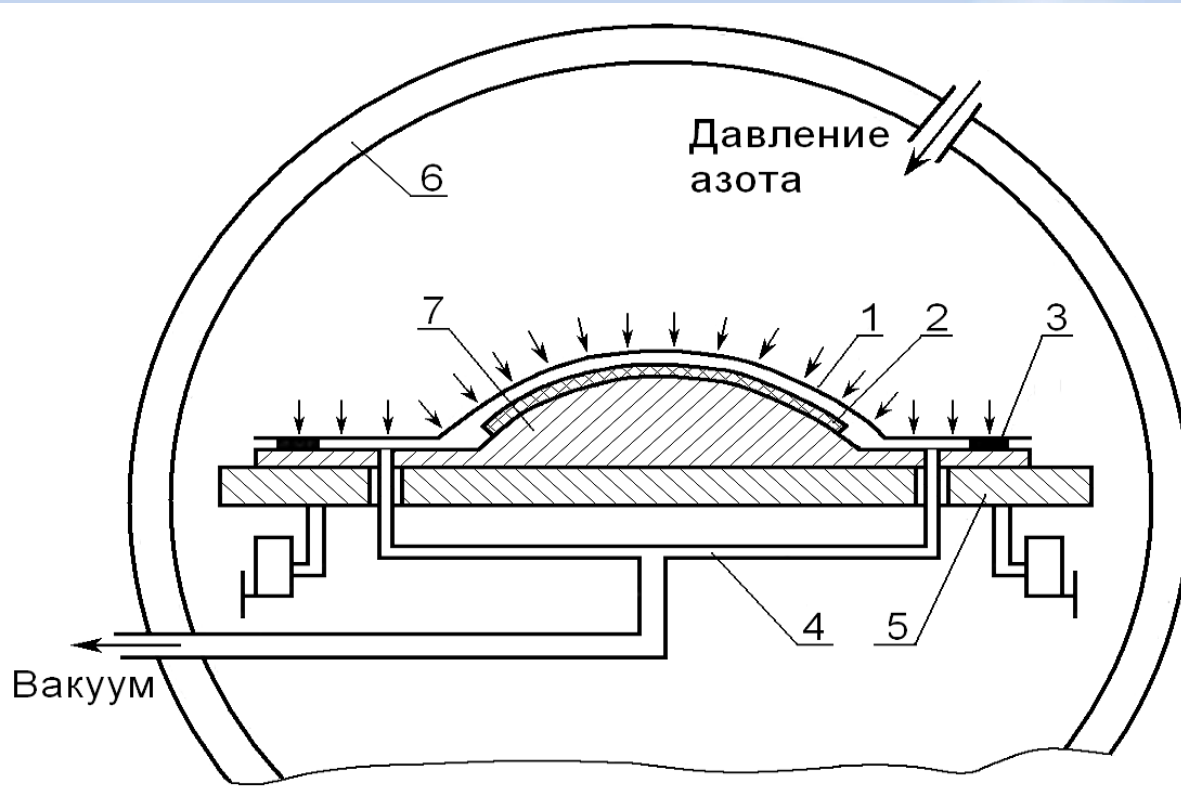


Схема формования в автоклаве:

- 1 – эластичная диафрагма; 2 – формируемая заготовка; 3 – герметичная паста или жгут; 4 – вакуумная проводка; 5 – тележка для загрузки формы с заготовкой; 6 – стенка автоклава;
7 – технологическая форма

ВЫКЛАДКА – укладка слоев препрега с заданным направлением волокон на подогретую технологическую форму и изготовление в автоклаве.

ПУЛТРУЗИЯ – процесс непрерывного протягивания препрега внешним усилием через фильеру.

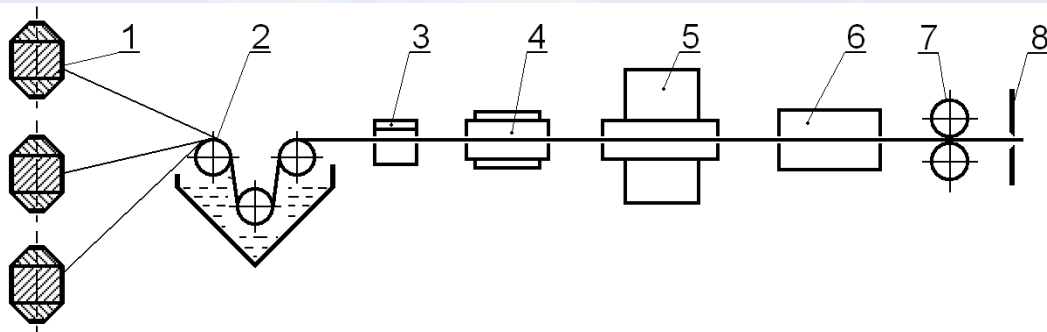


Схема установки для изготовления элементов пултрुзией:

1 – бабины или катушки с армирующим материалом (нити или ленты); 2 – ванна с жидким полимерным связующим; 3 – устройство контроля содержания связующего в пропитанном материале; 4 – предварительное формующее устройство; 5 – профилирующая форма с тепловым воздействием на формуемый материал; 6 – печь для термообработки; 7 – тянущее устройство; 8 – отрезное устройство

НАМОТКА – процесс формообразования элементов, при котором заготовки получают путем автоматической укладки по заданным траекториям армирующего материала (моноволокна, ленты, ткани, пропитанными связующим) на вращающиеся формы или оправки.

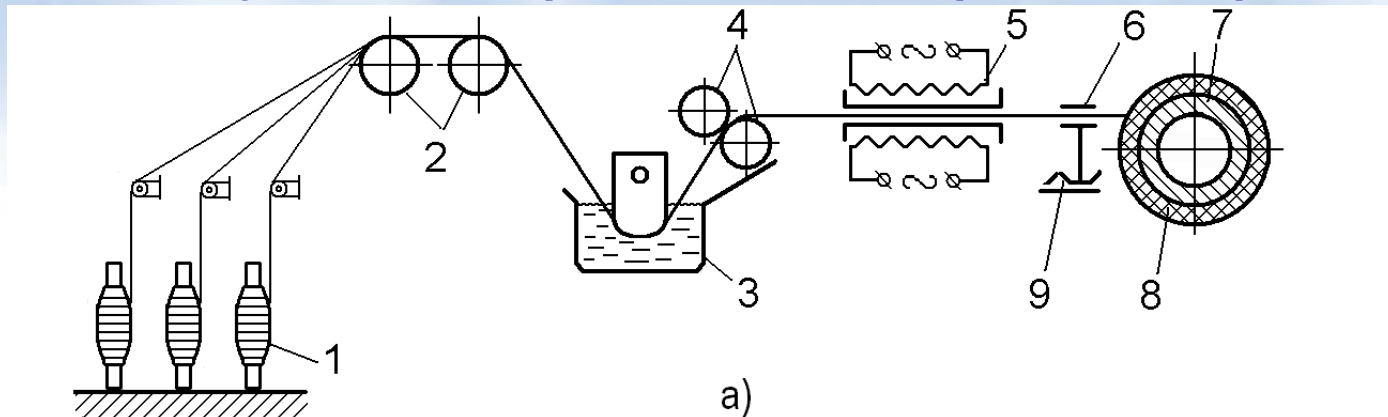
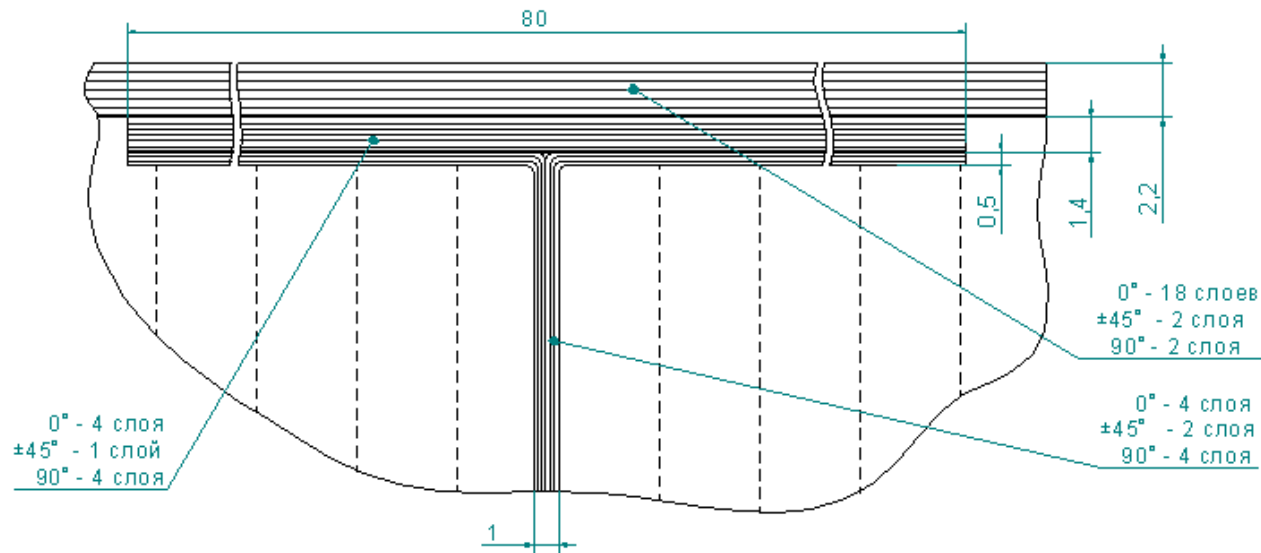


Схема процесса намотки

- 1 – бабины или катушки с армирующим материалом (нити или ленты);
- 2 – направляющие валки; 3 – ванна с жидким полимерным связующим;
- 4 – протяжные валки, ограничивающие количество связующего; 5 – нагреватель;
- 6, 9 – направляющее устройство; 7 – оправка; 8 – намотанная заготовка

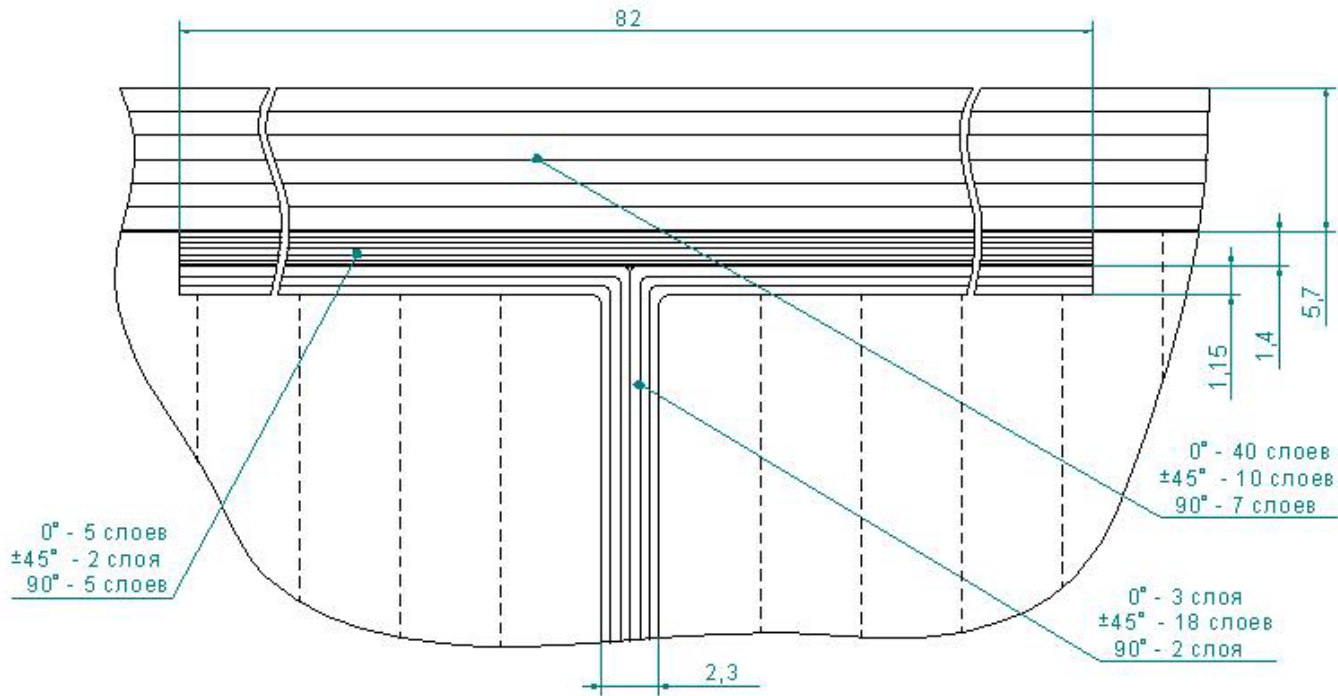
Среднее сечение

Зона А Укладка слоев (Увеличено)

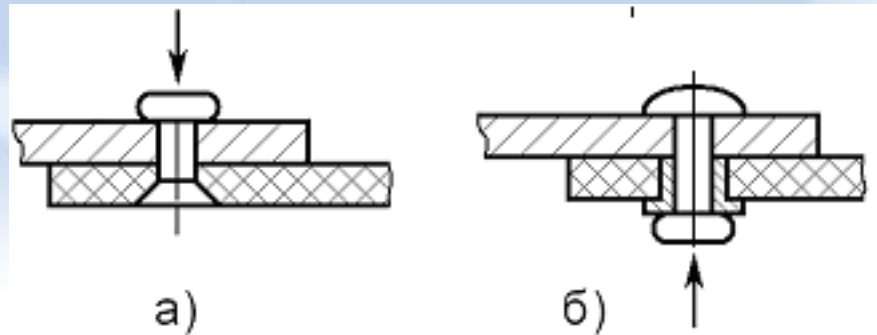


Корневое сечение

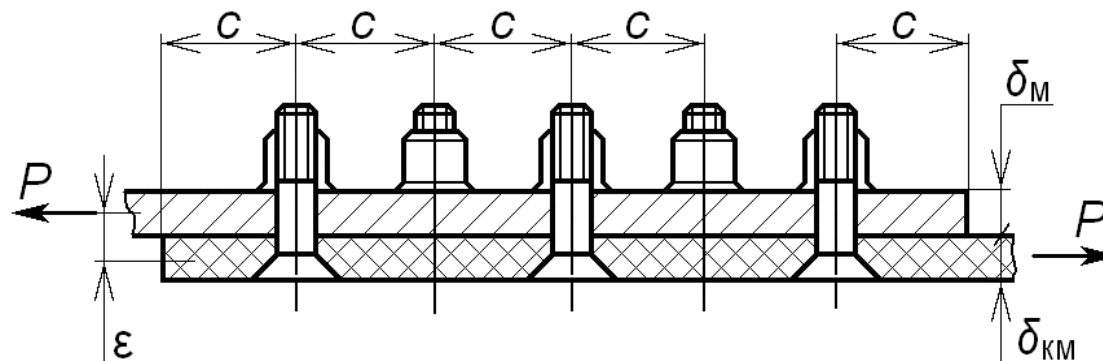
Зона А Укладка слоев (Увеличено)



Неразъемные соединения

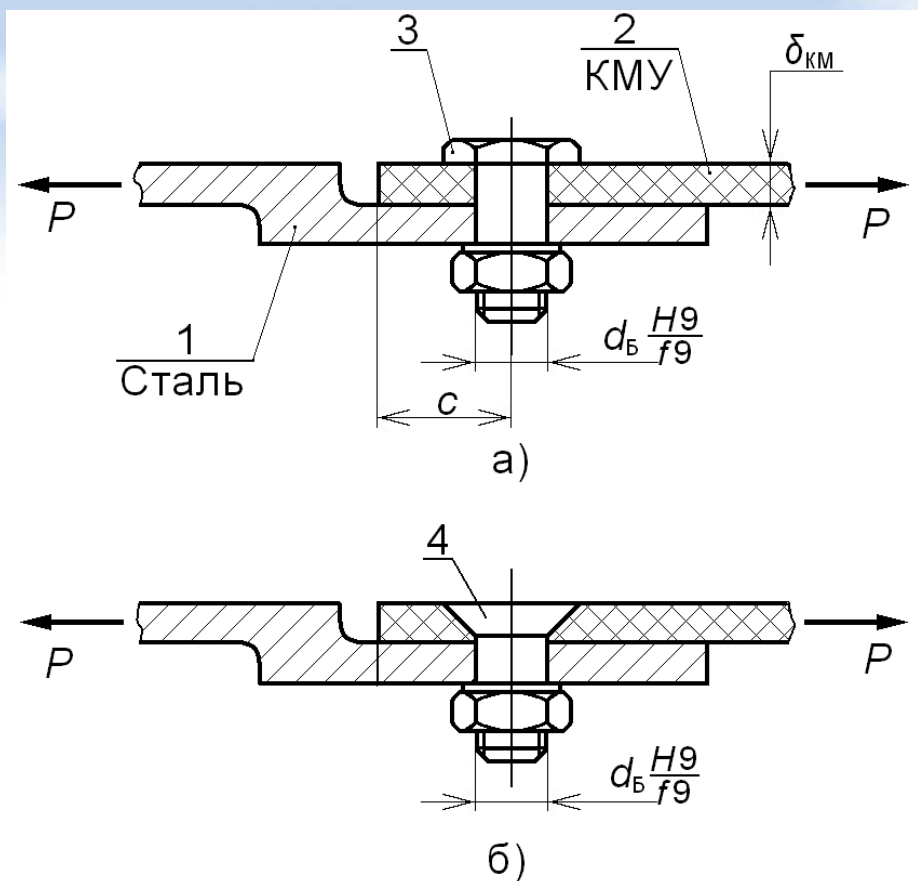


Соединение деталей при клепке КМ материал заклепок – ВТ6.



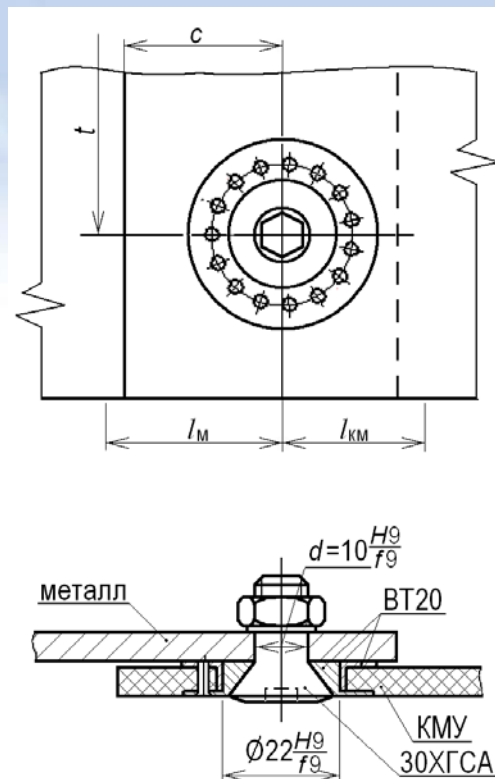
Установка болт-заклепок. Сердечник – коррозионнотойкая сталь

Традиционная технология



Болтовые односрезные разъемные соединения

Совмещенная технология



Болтовое соединение с металлической втулкой

The content of that document is the property of ECAR. It is confidentially provided and the industrial secret related to its content must be protected. In any case, it cannot be used to other purpose that the one it is provided to and all information of its content cannot be disseminated to non authorised people. It cannot be partially or globally reused without the written approval of ECAR.