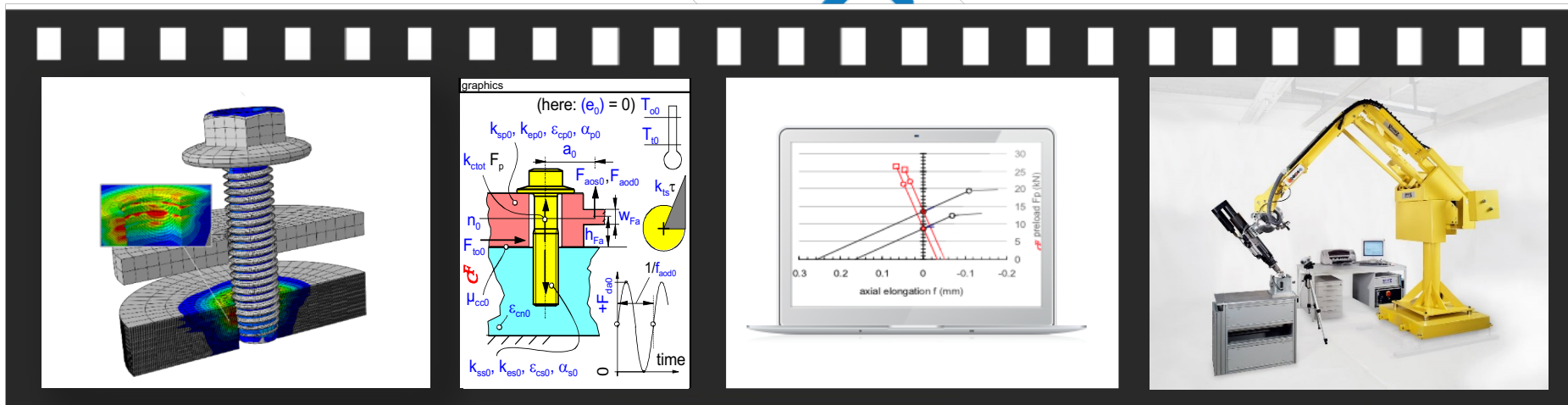


## -连接技术系列研讨班邀请函

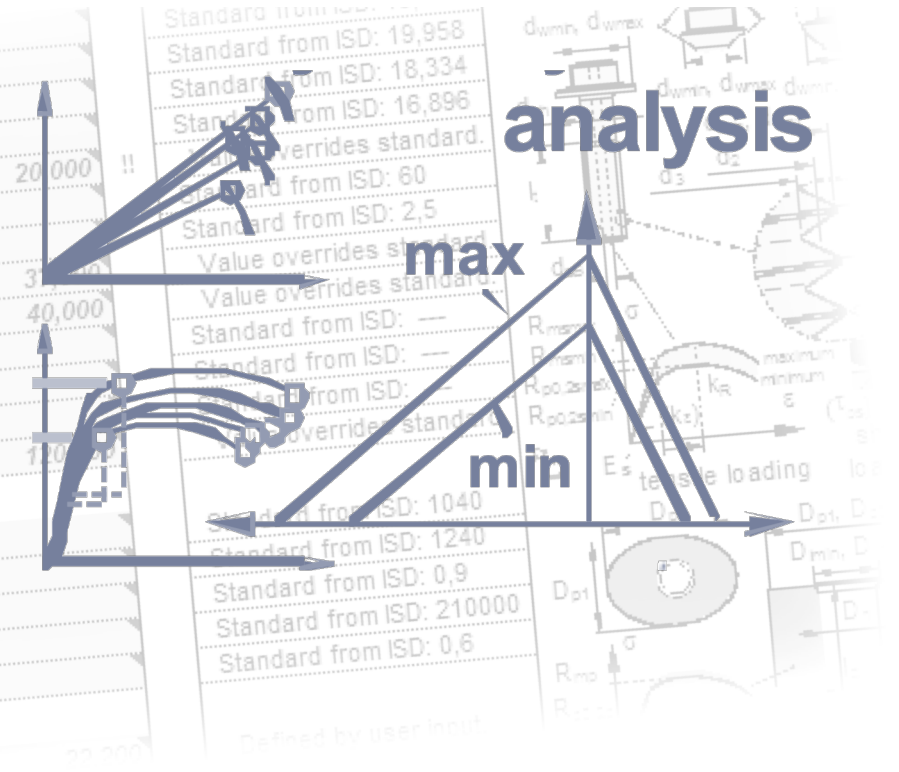
## ——紧固件正向设计及VDI 2230计算基础

-德国Zwick/Roell集团，德国AFS先进连接技术研究所、德国Schatz拧紧技术学院



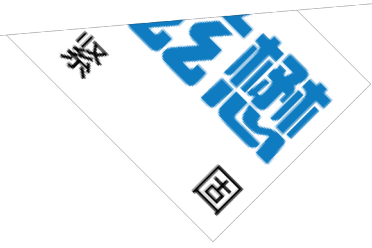


Knowledge  
is  
power!



# 螺栓的基础计算分析-VDI2230

2018/8/1-2



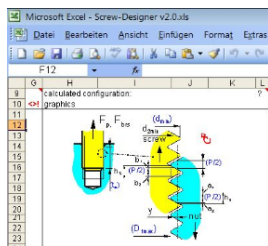
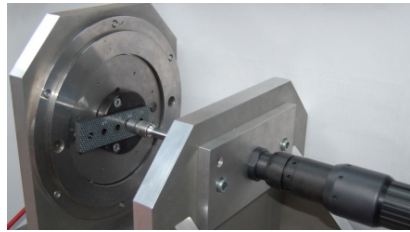
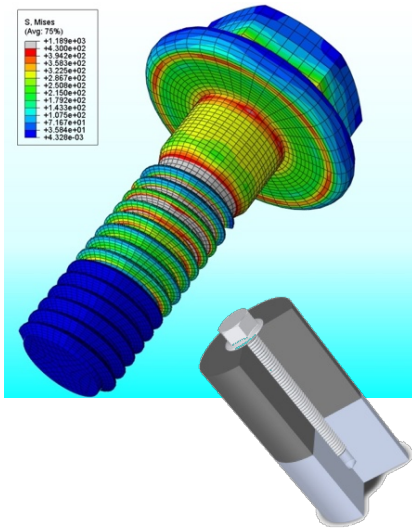
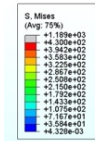
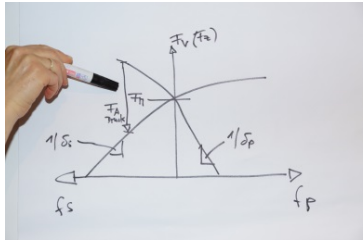
## Zwick / Roell



Am Gambachsweiher 43  
57258 Freudenberg, Germany  
AFS Advanced Fastening Solutions GmbH, Germany

# 简介

## AFS 为工业提供支持



**Screw-Designer**



- AFS是现代的工程机构，注重于为客户提供最有效的服务。
- 这意味着在产品的创新方面有三个重要领域：
  - 包含紧固在内的寿命工程
  - 复杂性仿真
  - 互动研讨会
- 深厚的学术专长。
- 多年的工业支持项目经验(在AFS成立之前)。
- 在全球有多个公司为满足不同地方客户需求。(也可以使用发达的通讯技术进行交流)
- 我们为您提供有效的支持，所以您可以专注于您的主要工作，生产我们所有需要的创新产品

# 简介

## 背景



Location of  
Freudenberg in the world



Buildings University of Siegen

- AFS位于德国中西部地区, 该地区交通发达, 许多紧固件供应商所在地。
- 螺纹连接通过便捷的网络, 可以全球客户项目的每一个阶段提供及时的技术支持和服务
- 优化, 例如汽车悬置, 连杆, 其他发动机部件, 内饰件, 涡轮机, 铝制零件, 镁制零件和碳纤维复合材料零件
- 汇聚了在螺纹连接技术设计方面, 试验测试和仿真方面的专家, 确保可以提供在传统工业技术上的强有力的支持。
- 拥有大学和SFA深厚的专业学术研究背景(SFA:德国紧固件协会出色的紧固件工程教育)
- 我们非常了解制造公差, 物流, 成本控制等客户的真实需求

# 计划安排

## VDI2230螺栓连接基础计算

第一天			第二天		
时间		内容	时间		内容
09:00	09:30	签到	09:30	10:45	第五部分
09:30	09:45	欢迎致辞	10:45	11:00	茶歇
09:45	10:00	MVP锡根大学AFS简介	11:00	12:00	第六部分
10:00	11:00	第一部分	12:00	13:00	午餐
11:00	11:15	茶歇	13:00	14:00	第七部分
11:15	12:15	第二部分	14:00	14:15	茶歇
12:15	13:30	合影、午餐	14:15	15:00	第八部分
13:30	14:30	第三部分	15:00	15:30	互动讨论
14:30	14:45	茶歇			
14:45	16:00	第四部分			
16:00	17:00	互动讨论			
17:00	18:00	晚宴			

# 研讨会内容

## 紧固件正向开发和设计研讨会

第一天		第二天	
模块	内容	模块	内容
1.1	为什么要进行螺栓的连接计算? <i>需要知道力的承载能力</i>	5	<i>怎样拧紧一颗螺栓? 非常重要: 正确的装配</i>
1.2	什么是螺纹连接紧固件? <i>基础的标准化的螺纹连接件</i>		
2.1	螺栓计算的受力模型是什么? <i>将螺栓连接点当做一个弹簧模型</i>	6	研讨会 – 案例学习III: 控制臂 <i>扭矩法控制的手动和计算器计算</i>
2.2	在连接中螺螺栓承受哪些力? <i>包含工作载荷</i>		
3	研讨会 – 案例学习I: 法兰连接 <i>手动和计算器计算</i>	7.1	运行一段时间后, 螺栓和零件的承受载荷如何变化? <i>松弛和自松导致的预紧力的衰减</i>
		7.2	研讨会 – 案例学习IV <i>通过软件Screw-Designer basic计算装配过程和预紧力的松弛。</i>
4	研讨会 – 案例学习 II: 径向连接的水泵 使用软件进行的计算 <i>Screw-Designer基础部分</i>	8.1	那一部分高应力下的区域会失效? <i>表面承压处和螺纹啮合处</i>
		8.2	如何进行集成仿真? <i>通过前沿技术仿真计算评估螺栓连接的质量</i>

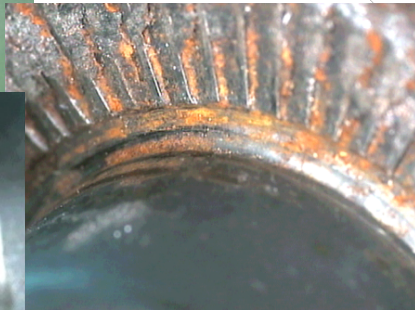
# 1.1 为什么要进行螺栓连接的计算?

## 一些螺栓拧紧的应用案例

性能等级为11.0级的螺栓连接卡车发动机连杆发生断裂



镁合金的铸造汽缸盖轮箱, 使用铝合金螺栓进行连接

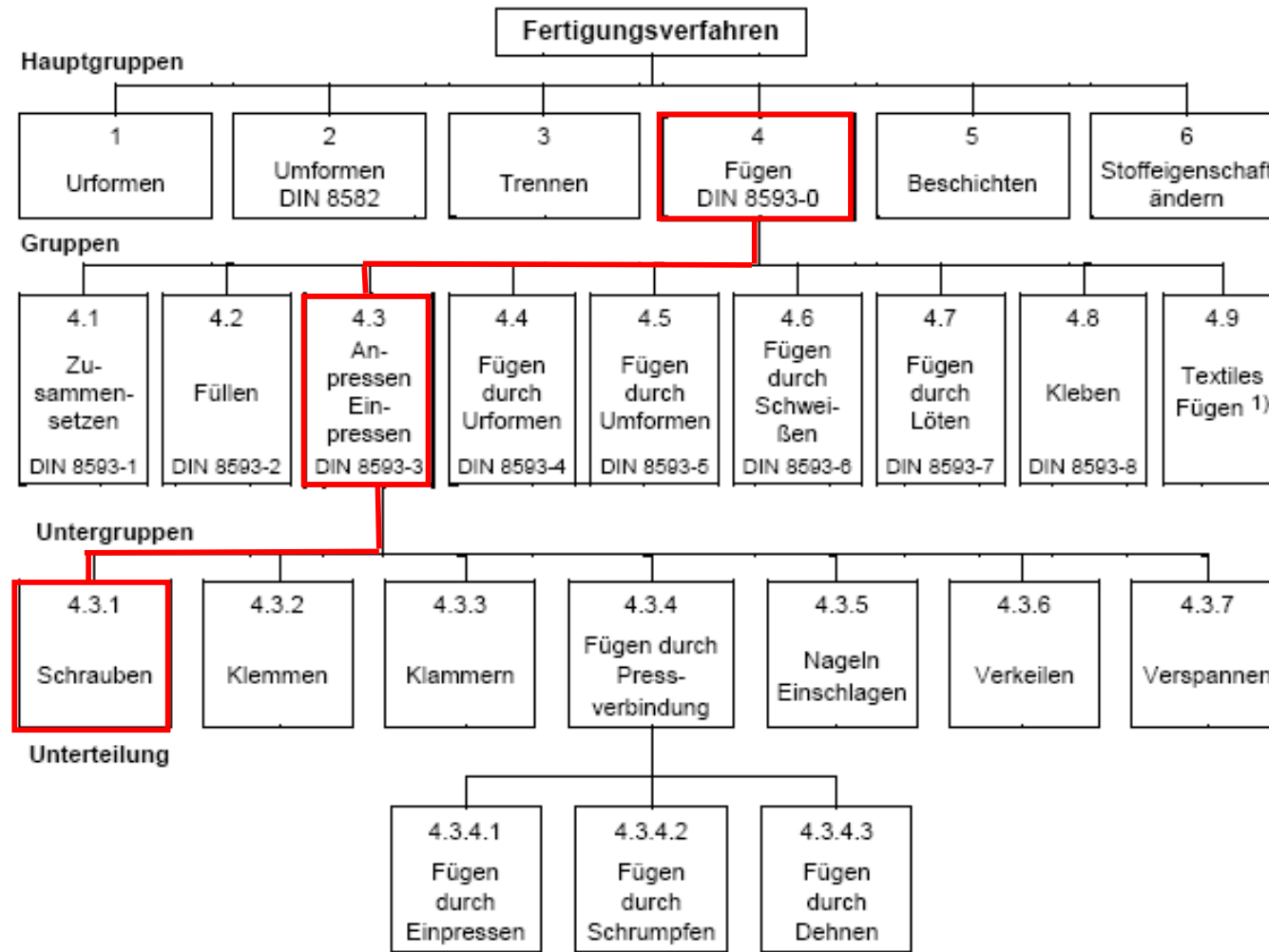


高的局部应力导致的螺栓头部与杆部过度位置发生的腐蚀

- 连杆轴承盖的螺栓连接, 属于具有较大振动载荷的螺栓接头。因此, 该接头必须要进行精确的设计
- 通常情况下, 箱体的一些螺纹接头在机械上很少加载载荷, 但由于密封原因, 也需要稳定的高夹紧力(需要考虑最小的预紧力 $F_{kmin}$ )。
- 由于螺栓连接点存在高应力, 腐蚀发生很快, 导致机械故障。所以, 确保有充分的腐蚀防护。

# 1.2 什么是螺纹紧固件?

根据DIN 8593-3的方法对螺栓进行分类



– 属于通过压力或其他力固定的螺钉。

– 属于可拆卸的连接螺钉。

– 螺丝属于基于摩擦的或正的（基于形状的）连接





















Source: DIN 8593-3, September 2003



# 1.2 什么是螺纹紧固件?

## 不同类型的螺栓头部驱动的等级

basics of screw drive selection

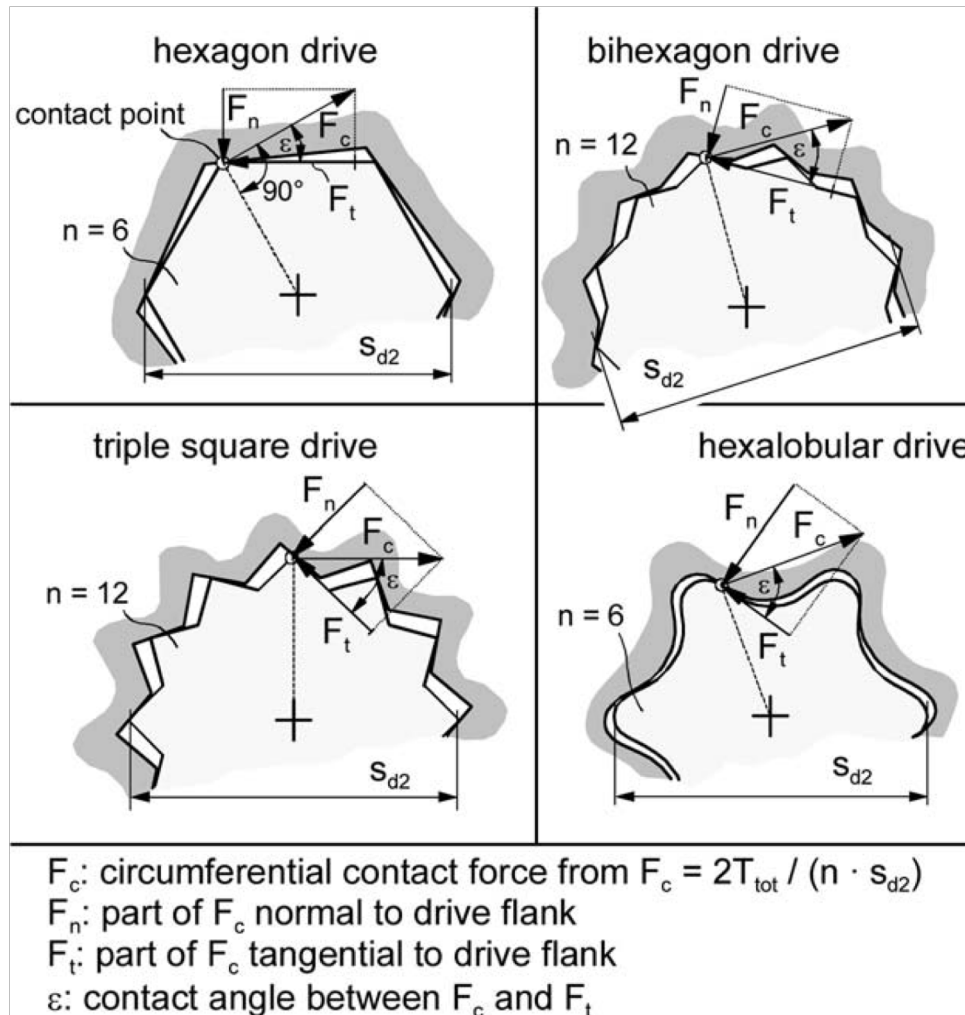
drive type	external				internal					
	hexagon	bihexagon	triple square	hexalobular	hexagon	bihexagon	triple square	hexalobular	cross recess	slotted
										
										
	120°	120°	90°							
number of drive flanks	6	12	12	6	6	12	12	6	4	2
recommendation for high torque values*	3	5	5	4	2	4	4	3	1	0
recommendation for low strength screws*	2	3	4	5	1	3	3	3	0	0
avoiding of screw surface damaging*	2	4	4	5	1	3	3	3	0	0
radial tool space requirements*	2	4	4	4	5	5	5	5	5	5
sum of points (max. 20)	9	16	17	18	9	15	15	14	6	5

\* scale of drive behaviour assessment: 0-not recommended, 1-poor, 2-acceptable, 3-fair, 4-good, 5-excellent

- 对于一些特殊的连接选择合适头部驱动是非常重要的。
- 在工程设计中很少使用十字槽和开槽驱动的头。

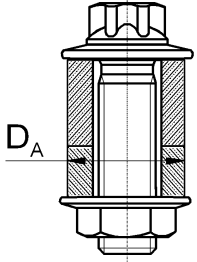
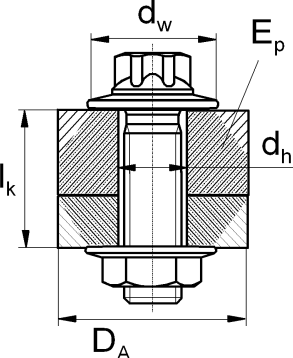
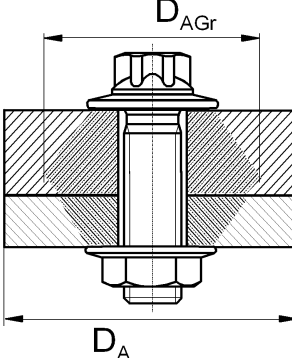
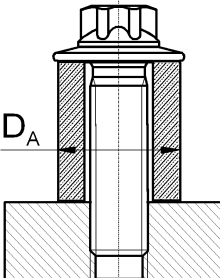
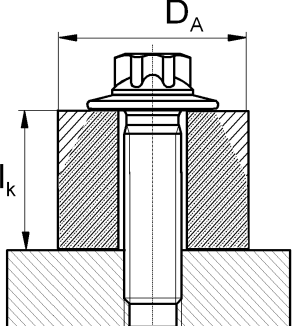
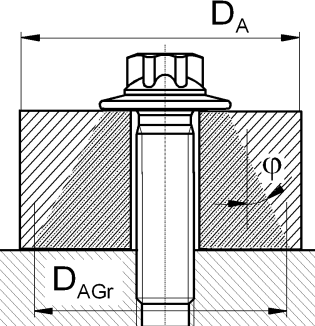
# 1.2 什么是螺纹紧固件?

## 具有高扭矩驱动力的接触条件



# 2.1 怎样建立一个螺栓连接的计算模型?

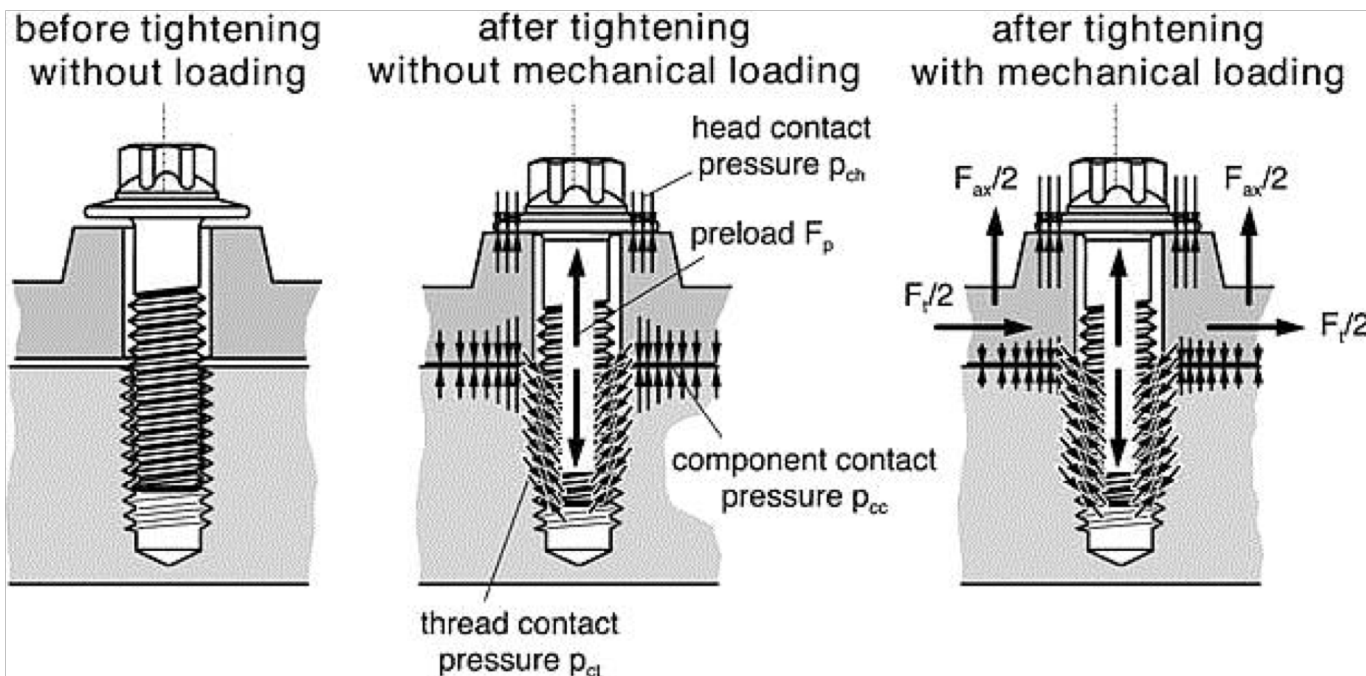
## 根据VDI2230 计算零件的柔度

	小的外部直径(套筒) $D_A \leq d_w$ (A)	中等外部直径(套筒和椎体) $d_w < D_A < D_{AGr}$ (B)	大的外部直径(椎体) $D_A \geq D_{AGr}$ (C)
贯穿的螺栓连接  $w = 1$  $\tan \varphi = 0,362 + 0,032 \ln(\beta_L/2) + 0,153 \ln(\gamma)$			
内螺纹连接  $w = 2$  $\tan \varphi = 0,348 + 0,013 \ln(\beta_L) + 0,193 \ln(\gamma)$			

With  $\beta_L = l_k/d_w$  and  $\gamma = D_A/d_w$  and case differentiation A, B, C with  $D_{AGr} = d_w + w l_k \tan \varphi$

## 2.2 螺栓连接点承受哪些力?

### 不同的机械载荷



– 任何螺栓连接点一般会受到两种不同方向的机械载荷:

- 沿螺栓轴向的轴向载荷  $F_{ax}$
- 垂直于螺栓轴向的横向载荷  $F_t$

– 拧紧过程中的预紧力和外部的轴向载荷会造成连接位置存在应力，因此必须要考虑到螺栓的承载能力



## 2.2 螺栓连接点承受哪些力?

对螺栓连接最重要的是评估  $F_{S\text{MAX}}$  和  $F_{K\text{MIN}}$

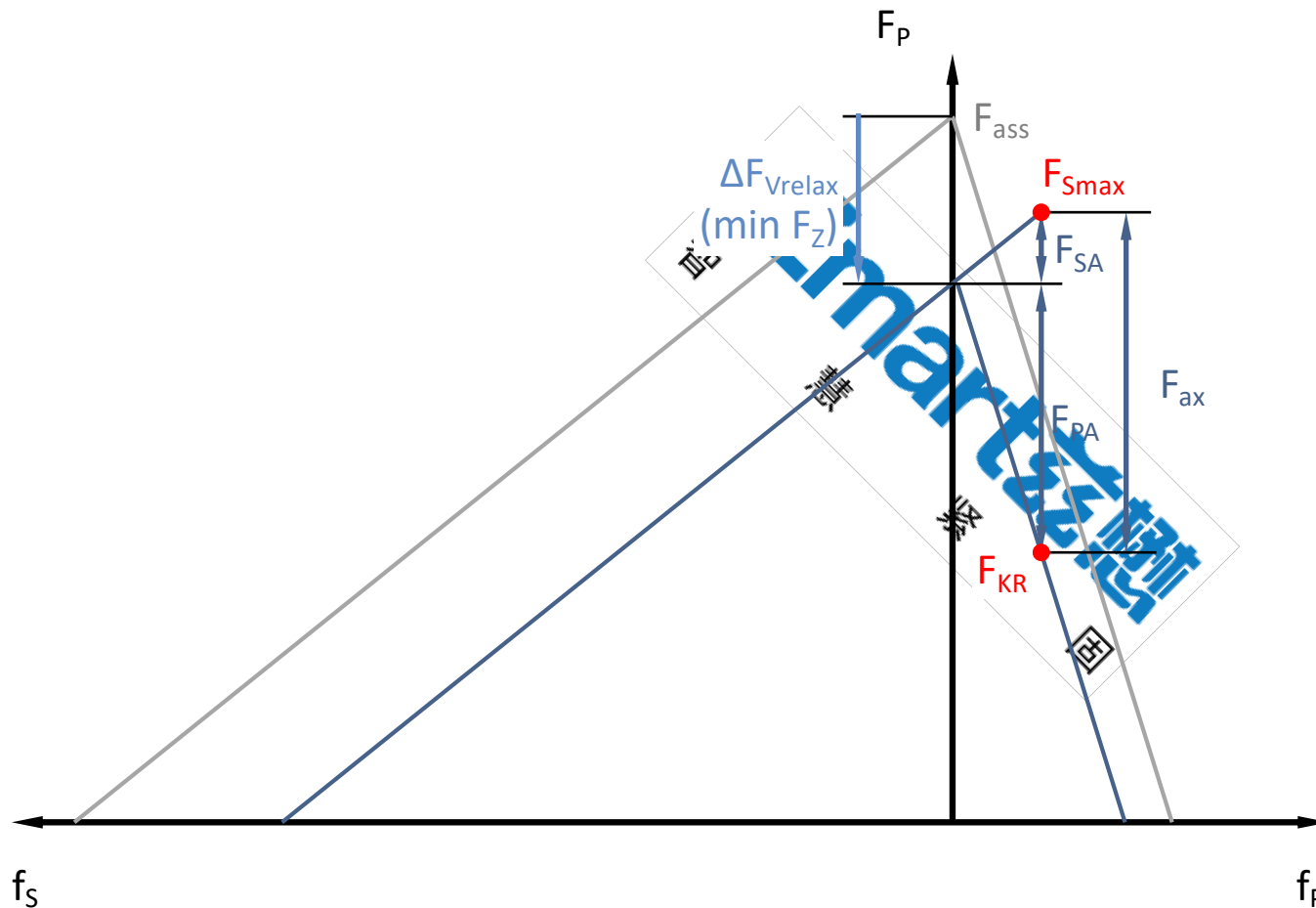
– 最大的螺栓载荷

$F_{S\text{max}} = F_{\text{ass}} - \Delta F_{\text{Vrelax}}^* + F_{\text{SA}}$   
对于螺栓杆部，螺纹啮合点和表面的接触压力不能太大。

– 零件最小夹紧力

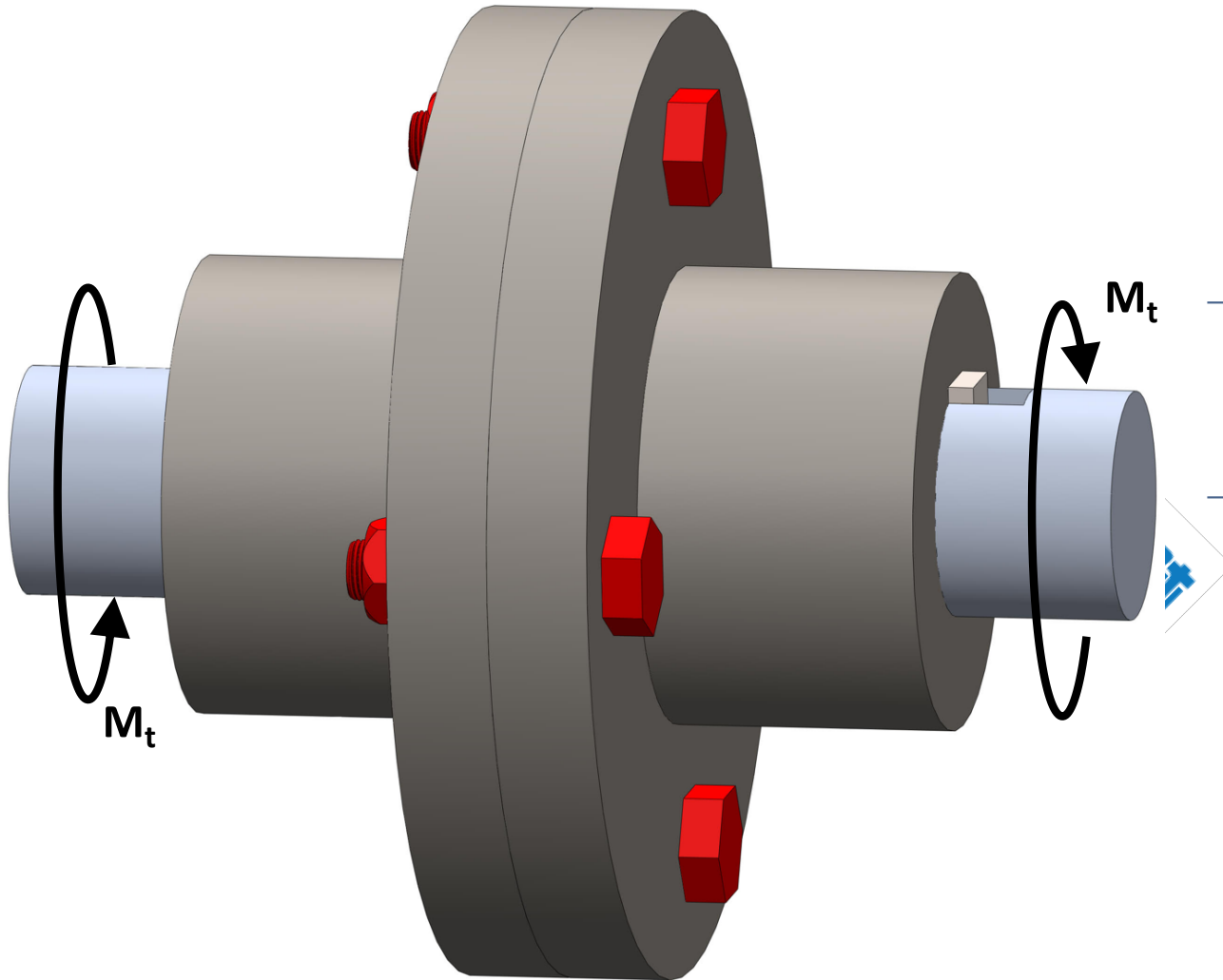
$F_{K\text{R}} = F_{\text{ass}} - \Delta F_{\text{Vrelax}}^* - F_{\text{PA}}$   
不能太小影响连接功能

\*  $\Delta F_{\text{Vrelax}}$  是嵌入造成的预紧力损失  $F_{\text{Z}}$



# 3 研讨内容 – 案例学习: 法兰连接

## 案例描述



– 如该法兰连接，当其承受一个外部载荷 $M_t$ 时，我们需要对其能够承受载荷进行评估，该载荷可能通过两个面的摩擦传递到连接点也可能直接作用在连接点。

– 两种受力分析:

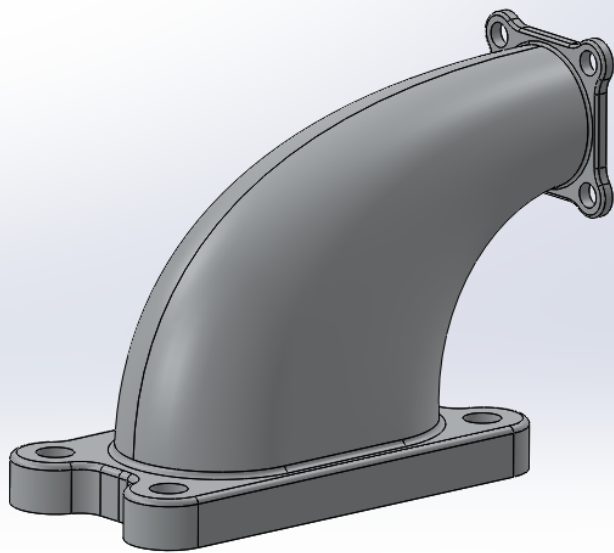
- 常规作用扭矩:  $M_{T_r} = 300 \text{ Nm}$
- 过载扭矩:  $M_{T_o} = 850 \text{ Nm}$

– 数据信息:

- 4 颗螺栓 M6x55 10.9 DIN 4014
- 4 颗螺母 M6 10 DIN 4032
- 每一个的拧紧扭矩为 $M_A = 12 \text{ Nm}$
- 装预紧力大约为.  $F_V = 12 \text{ kN}$  (acc. to VDI 2230)
- 螺栓位置的环形直径 $d_{bc} = 140 \text{ mm}$

# 4研讨内容 – 案例学习II: 水泵

## 案例描述, 第二部分



– 螺纹延伸到螺栓头部 (无光杆部分).

– 流管的法兰有以下相关参数:

– 夹紧长度  $l_c = 10 \text{ mm}$

– 孔径  $d_h = 8 \text{ mm}$

– 外部直径  $D_A = 18 \text{ mm}$

– 柔度的计算

– 螺栓:  $\delta_s = 2.669E^{-6}$

– 夹紧零件:  $\delta_p = 1,390E^{-6}$

– 螺纹最大的摩擦系数

$\mu_{th} = 0,16$

– 问题:

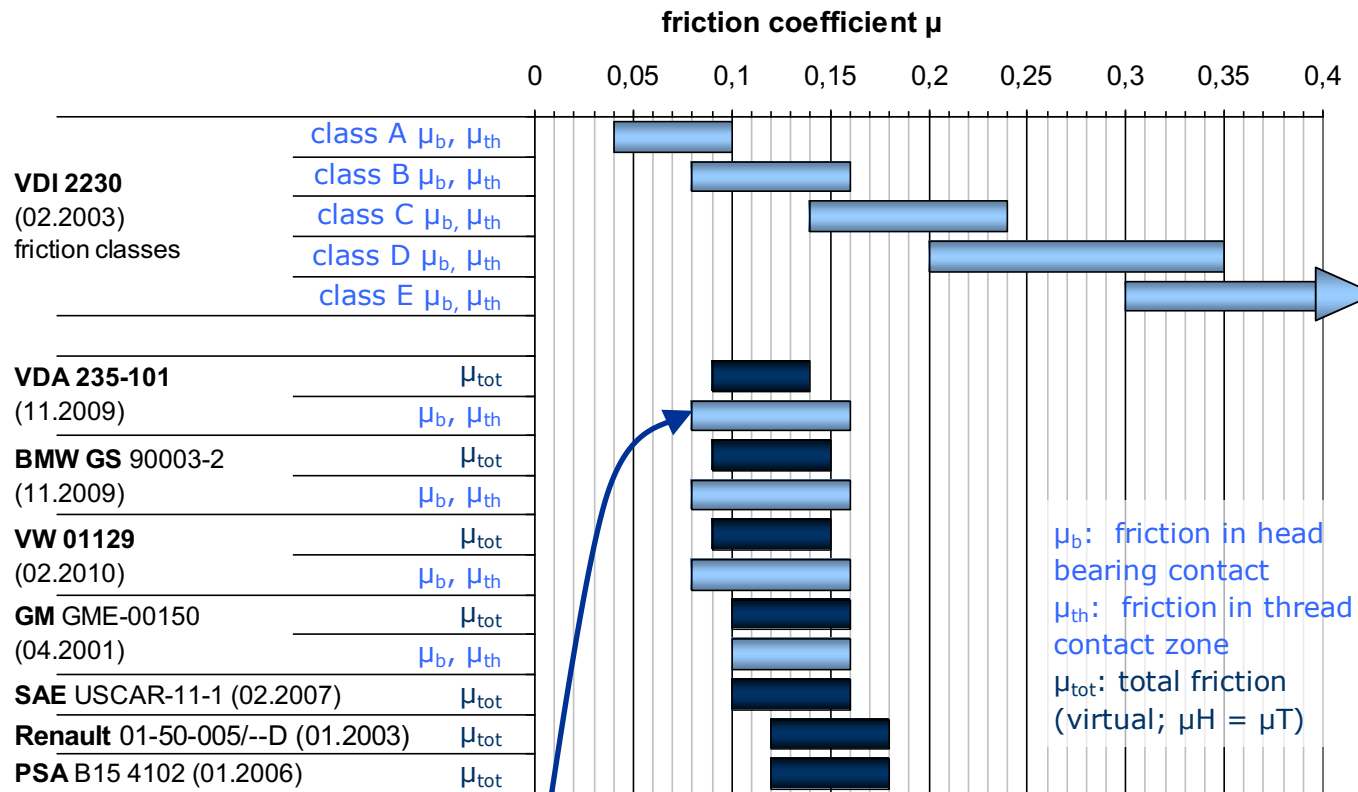
– 螺栓连接是否能产生足够的夹紧力以承受压力?

– 螺栓是否过载?

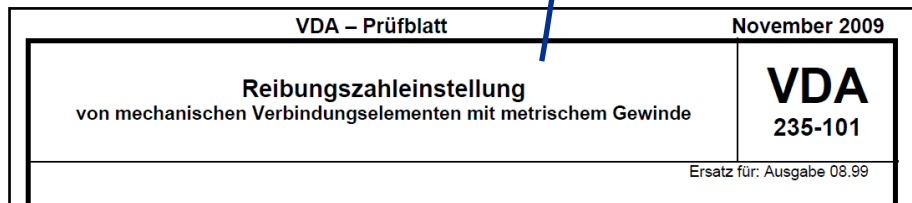
– 横向力可以通过摩擦力来传递吗?

# 5怎样拧紧一颗螺栓?

## VDI 2230和汽车工业的摩擦范围定义



- 对于摩擦系数的允许范围有不同的定义.
- 汽车工业 (特别是德国的制造商) 主要是采用VDI2230中的摩擦等级B。



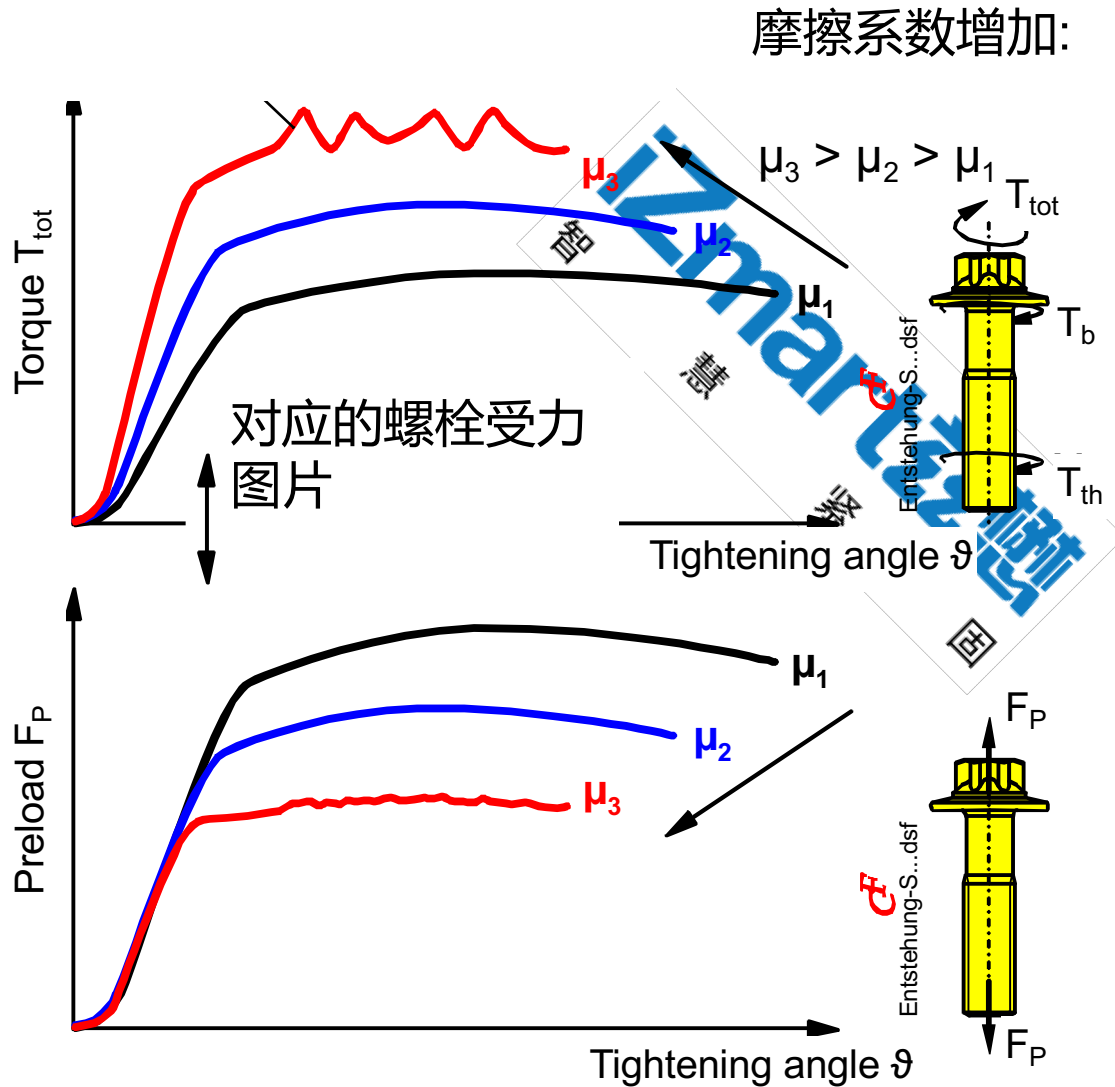
Source: Friedrich, C.; Hubbertz, H.: Friction behavior and preload relaxation of composite products with fastening systems, International Conference on Composite Structures ICCS-17, Porto, 2013.



# 5 怎样拧紧一颗螺栓?

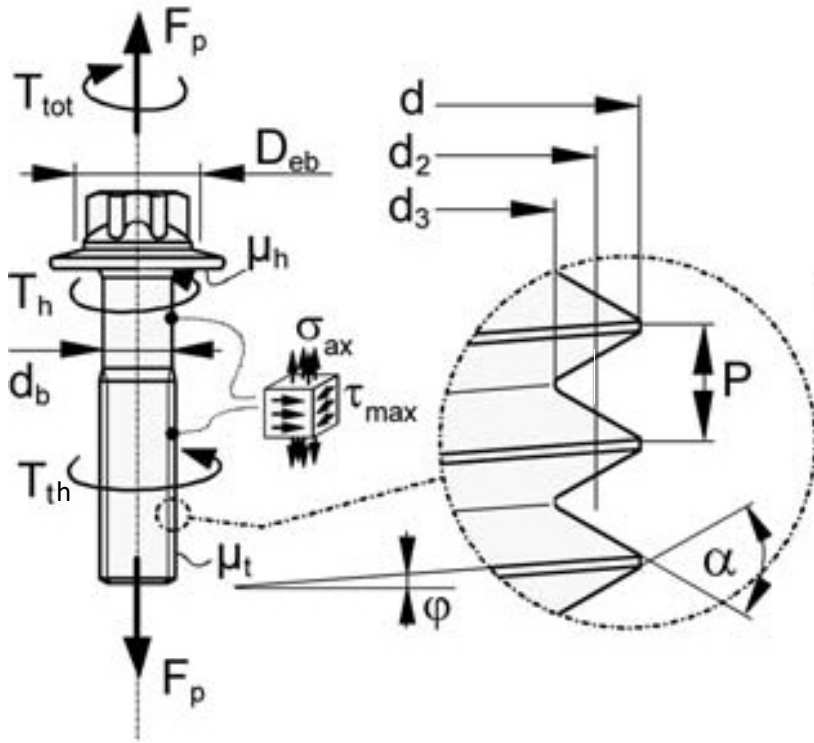
摩擦系数，扭矩和预紧力之间的关系

e.g. 不稳定的接触造成的扭矩的不连续



# 5 怎样拧紧一颗螺栓?

预紧力 $F_p$ 与紧固扭矩 $T_t$ 合计之间的关系



装配扭矩 $T_{tot}$

$$T_{tot} = T_{th} + T_h$$

$$T_{th} = F_p \frac{d_2}{2} \tan \left[ \arctan \frac{P}{\pi \cdot d_2} + \arctan \frac{\mu_t}{\cos(\alpha/2)} \right]$$

$$\text{简化: } T_{th} = F_p \frac{d_2}{2} \left[ \frac{P}{\pi \cdot d_2} + 1,155 \mu_G \right]$$

头部扭矩 $T_h$

$$T_h = F_p \frac{D_b}{2} \mu_h$$

$$F_p = \frac{2 \cdot T_{tot}}{d_2 \cdot \left[ \frac{P}{\pi \cdot d_2} + 1.155 \cdot \mu_{th} + \mu_b \cdot \frac{D_b}{d_2} \right]}$$

# 5 怎样拧紧一颗螺栓?

## 拧紧系数 $\alpha_A$

Bolting tool	Bolting system with control and measurement electronics			Cut-out bolter	Impact bolter
	Yield-point-controlled	Angle-controlled	Torque-controlled Angle-monitored		
Bolting technique	Yield-point-controlled	Angle-controlled	Torque-controlled Angle-monitored	Torque-limited	Torque-limited
Tightening factor	1★	1★	1.4 to 1.6	1.7 to 2.5	2.5 - 4.0
Bolt Quality 8.8 Clamping length 20 mm					
Min. clamp load $F_{min}$ Max. clamp load $F_{max}$	15 000 N 15 000 N	15 000 N 15 000 N	15 000 N 24 000 N	15 000 N 37 500 N	15 000 N 60 000 N

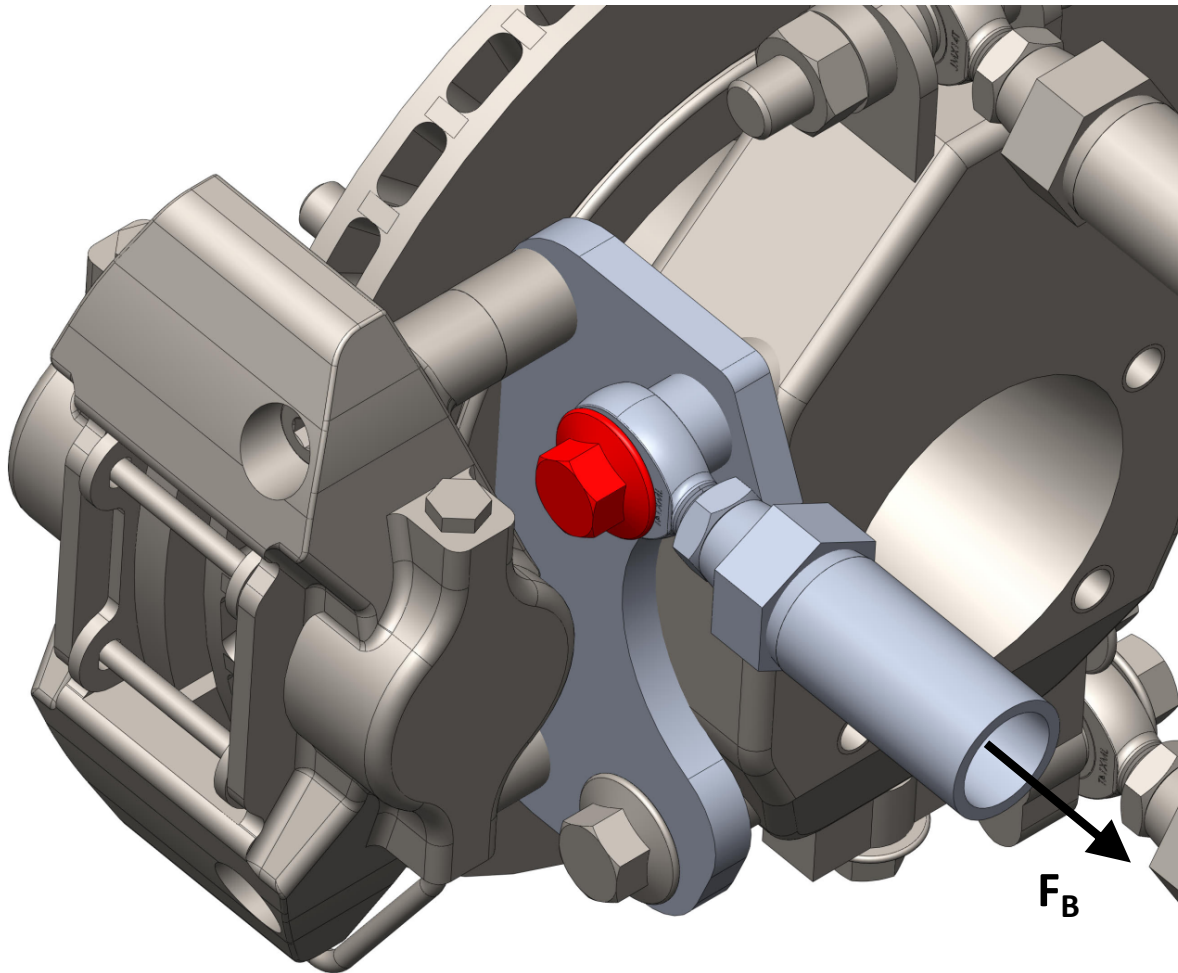
$$\alpha_A = \frac{F_{Pmax}}{F_{Pmin}}$$

★  $\alpha_A$  is greater than 1, but  $\alpha_A = 1$  is used for the dimensioning equation.

- 这是对一系列拧紧系数的概述。
- VDI 2230的表A8提供了几种组装方法的列表。

# 6 研讨内容 – 案例学习III: 控制臂

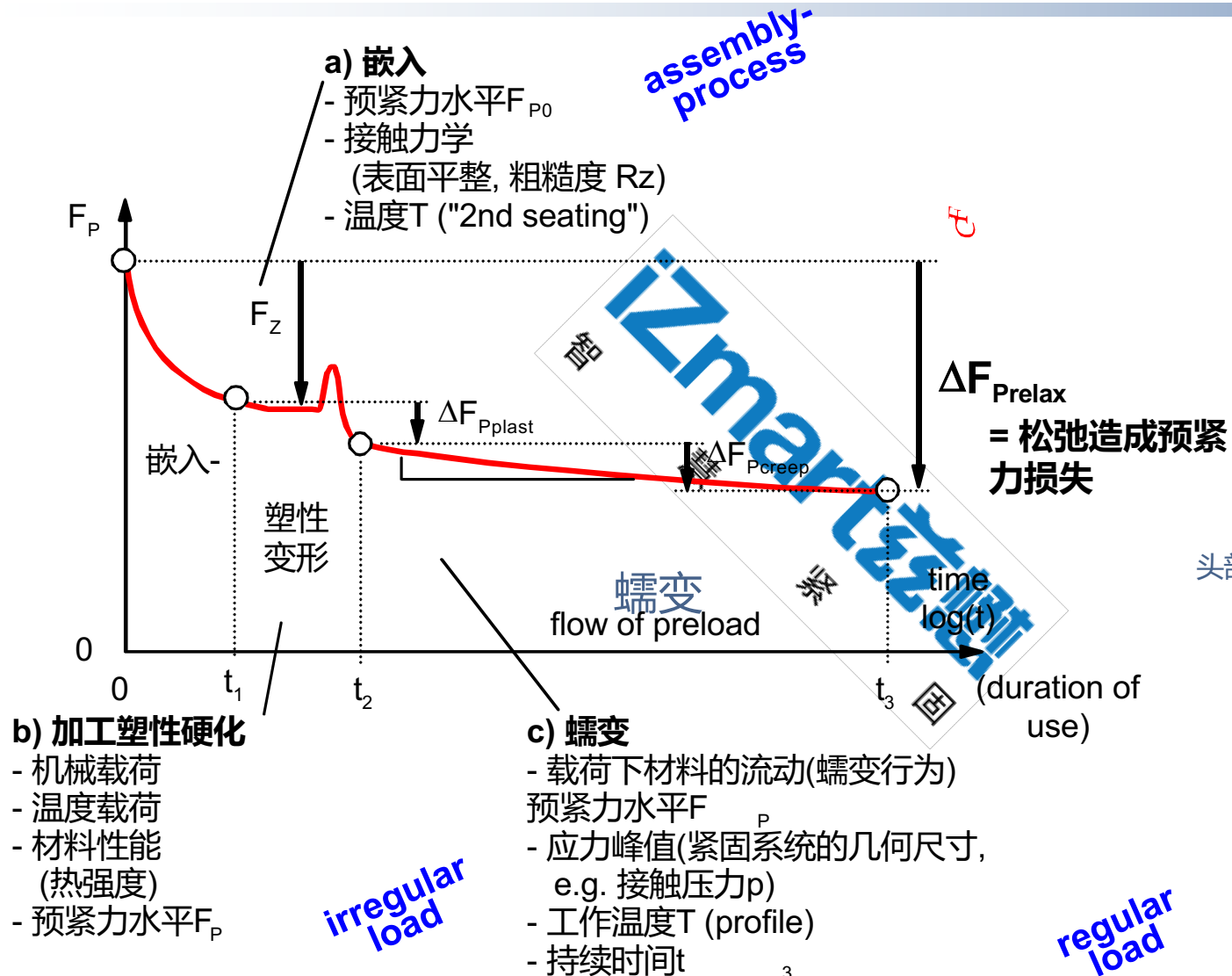
## 案例描述



- 汽车上的控制臂连接螺栓为法兰螺栓M12x1.5x55 10.9.
- 拧紧扭矩为 $M_A = 80 \text{ Nm}$  (摩擦系数B:  $\mu_{\text{tot}} = 0.08 - 0.16$ )
- 外载荷 $F_B = 9 \text{ kN}$  垂直于螺栓轴向, 通过摩擦系数传递到连接点(两种材料表面的摩擦系数 $\mu_i = 0.12$ )
- 该连接是否安全?

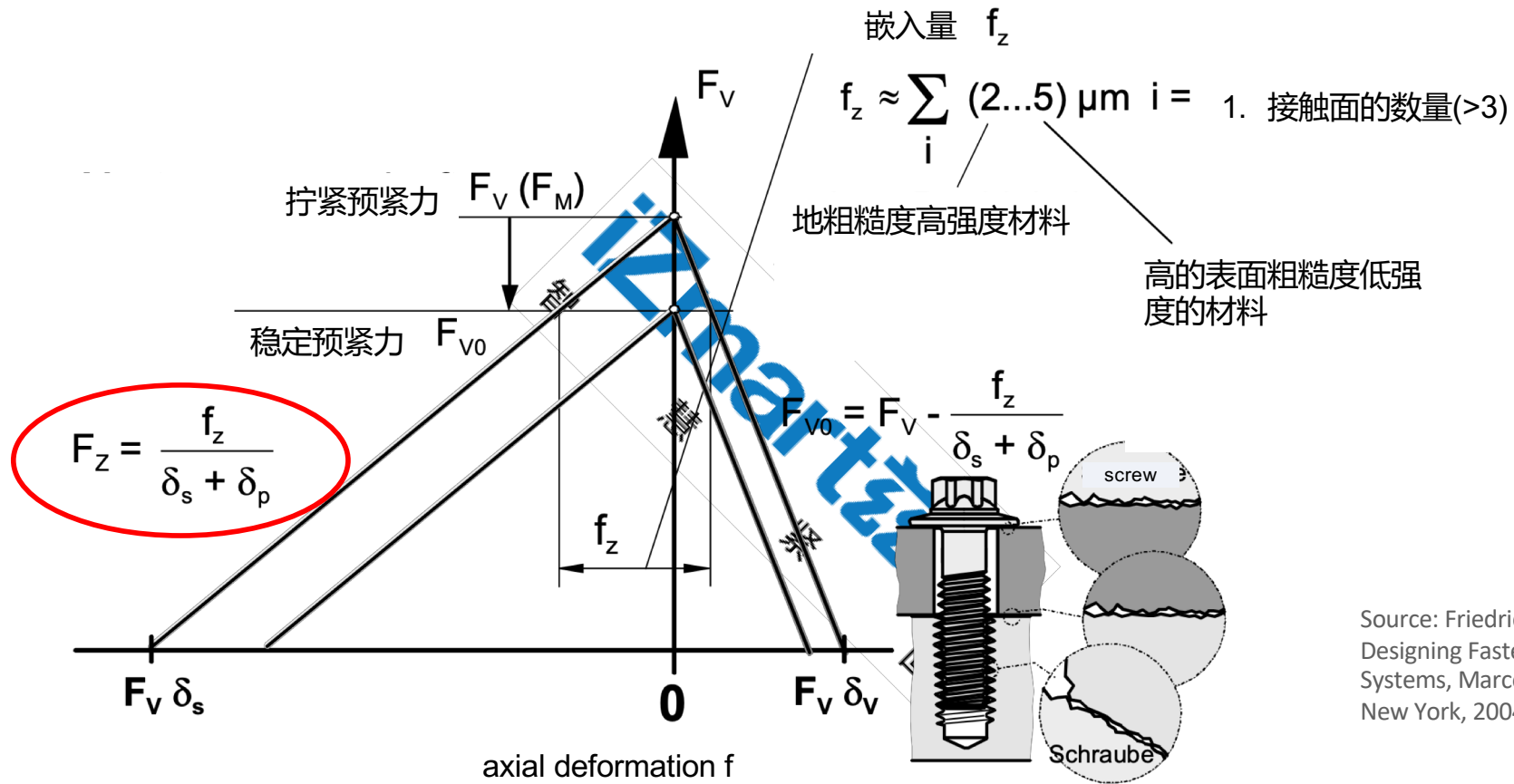
# 7.1 螺栓的承载能力在外载作用一段时间怎样变化?

## 松弛造成的预紧力损失



# 7.1 螺栓的承载能力在外载作用一段时间怎样变化?

## 嵌入造成的预紧力衰减



Source: Friedrich, Designing Fastening Systems, Marcel Dekker, New York, 2004.

– 由于内嵌导致的预紧力衰减发生在所有的紧固连接中

– 由于表面粗糙造成的嵌入量可能比图中的嵌入量大很多.

# 7.1 螺栓的承载能力在外载作用一段时间怎样变化?

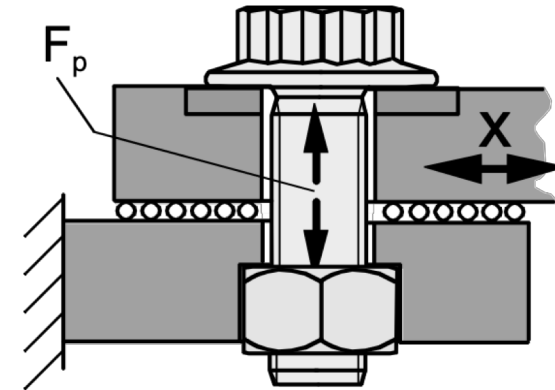
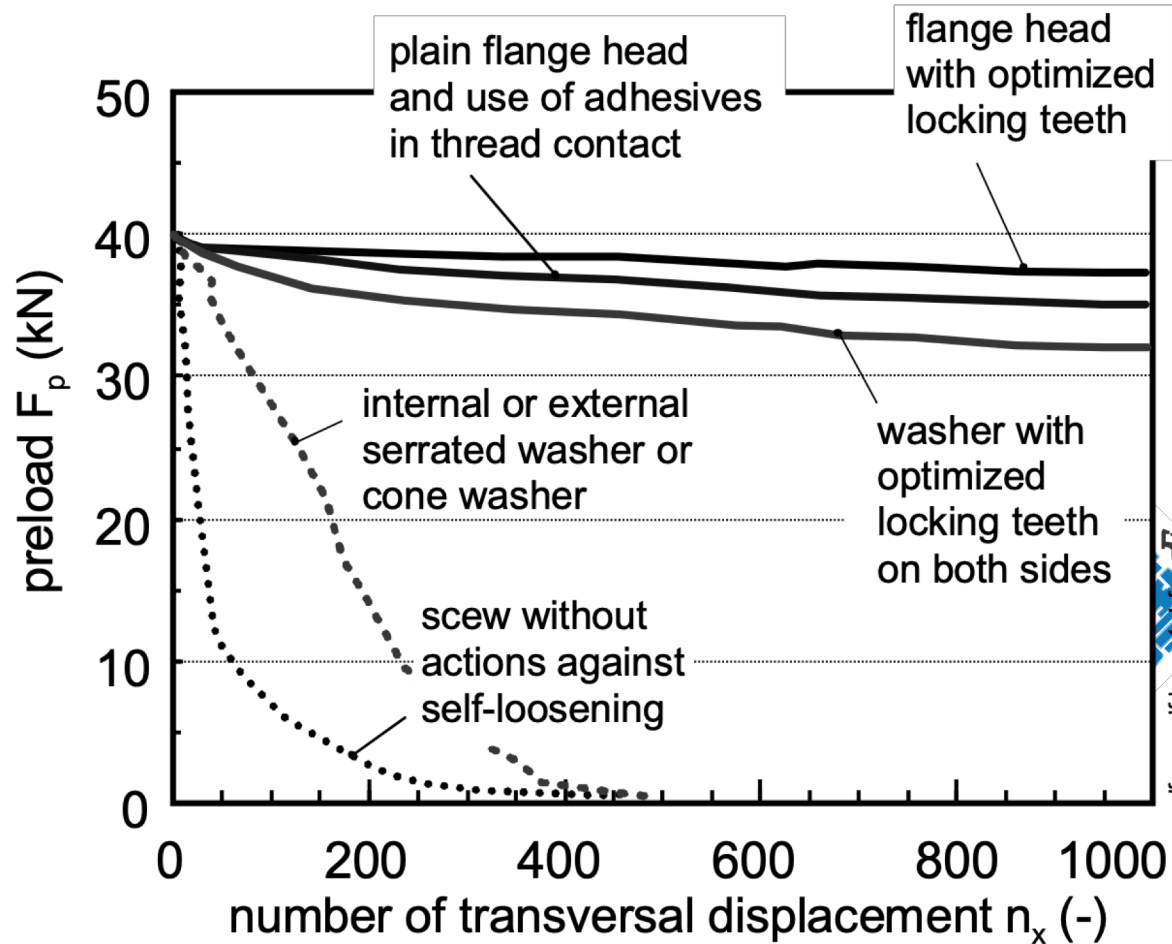
VDI 2230中嵌入量的指导值

平均粗糙度Rz ISO 4287	载荷性质	嵌入量 $\mu\text{m}$		
		螺纹	每个螺栓螺母的支撑面直径	每个零件接触面
<10 $\mu\text{m}$	拉力/剪切力	3	2,5	1,5
		3	3	2
10 $\mu\text{m}$ up to < 40 $\mu\text{m}$	拉力/剪切力	3	3	2
		3	4,5	2,5
40 $\mu\text{m}$ up to < 160 $\mu\text{m}$	拉力/剪切力	3	4	3
		3	6,5	3,5



# 7.1 螺栓的承载能力在外载作用一段时间怎样变化?

## 螺栓接头自松动行为



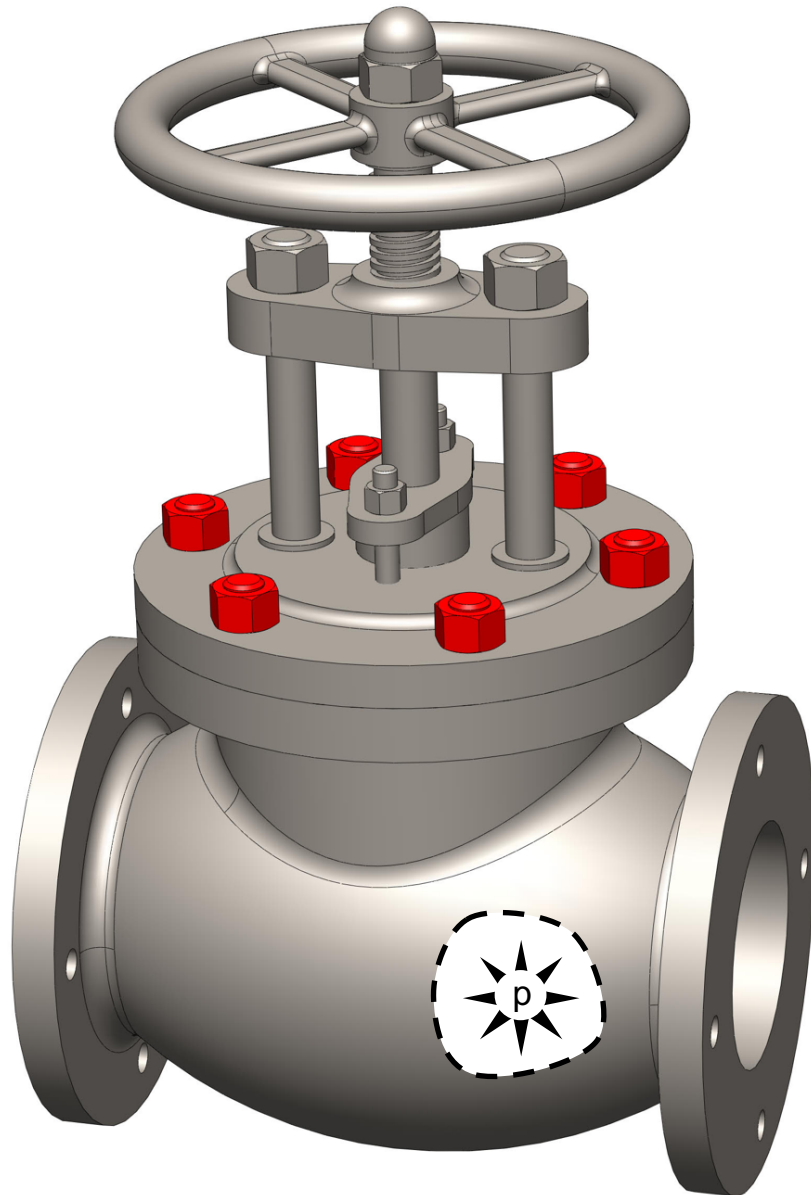
screw M10 - 10.9,  
initial preload  $F_p = 40$  kN,  
predefined transversal amplitude  
without preload  $x = 0.8$  mm,  
clamped part surface  
steel sheet HV 110,  
standard nut thread 6H,  
thread engagement  $t_e = 8$  mm,  
app. 3000 cycles to fatigue rupture  
of screw, testing frequency 15 Hz

Source of figure: Friedrich, Designing Fastening Systems, Marcel Dekker, New York, 2004.



## 7.2 研讨会 – 案例学习IV: 切断阀

### 案例描述



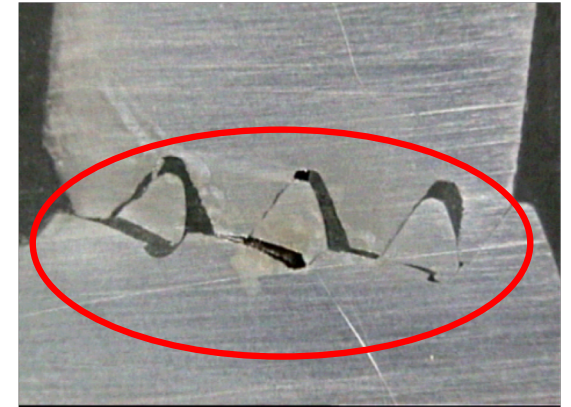
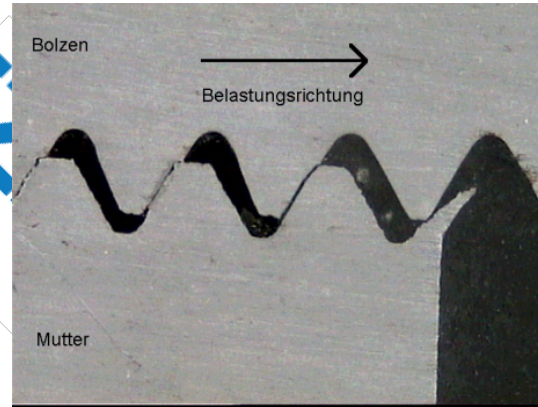
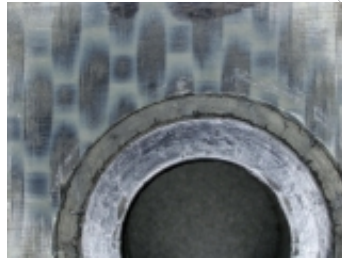
- The flange plate of a stop valve is clamped with 6 M20 10.9 studs with nuts M20 10 ( $D_b = 26$  mm).
- The tightening is done with a torque of  $T_{tot} = 430$  Nm. (friction class B:  $\mu_{tot} = 0.08 - 0.16$ )
- The maximum pressure is  $p = 10$  Mpa and acts on a surface of  $24000$  mm<sup>2</sup>.
- Seating (Embedding) values of VDI 2230 should be taken into account ( $R_z = 30$   $\mu$ m).
- Additionally there is a preload loss due to relaxation of the gasket of 30% of the tightening preload.
- Resiliencies
  - Screw:  $\delta_s = 1.488E^{-6}$
  - Clamped Part:  $\delta_p = 2.342E^{-7}$
- Is the flange properly sealed?

# 8.1哪一部分高应力下的区域会失效?

## 表面压力和螺纹啮合

- 某些因素下，不仅螺栓的杆部会断裂，而且螺栓头/螺母接触可能压溃或螺纹啮合处也可能会超载。

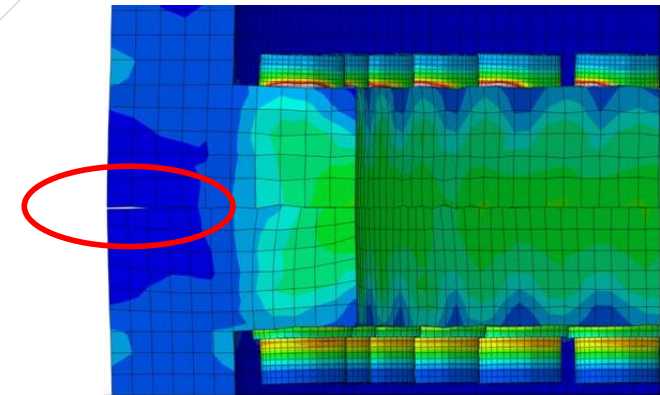
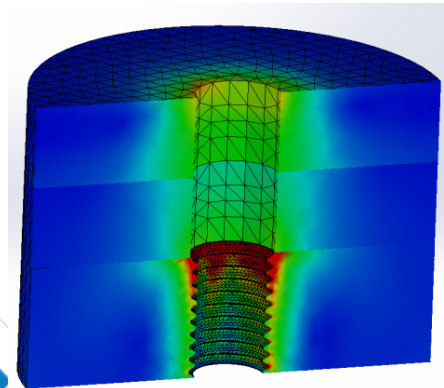
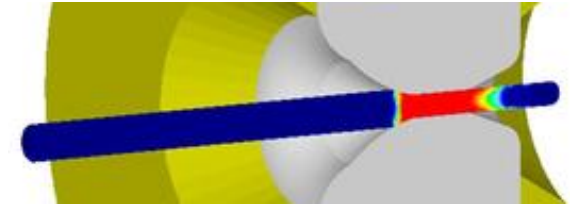
- 这一点尤其重要的是，当将螺栓连接在像铝这样的轻质材料上时。



# 8.2 如何进行集成仿真?

## 应用领域的概况-紧固件连接仿真的潜力

- 生产
  - 金属的流动, 成型能力
  - 内部应力, 工具的磨损
- 装配 / 拆卸
- 弹性或超弹性拧紧(拧紧扭矩, 预紧力, 拧紧角度etc.)
  - 支撑面压力, 螺纹啮合, 零件的接触面
  - 螺纹的承载能力, 啮合长度
  - 粘滑行为
  - 自攻螺钉的装配
  - 柔度
  - 运行
  - 螺栓应力(动态应力)
  - 对开封和密封接触分析进行的评估
  - 温度造成的应力
  - 自松现象
  - 多螺栓连接的复杂系统

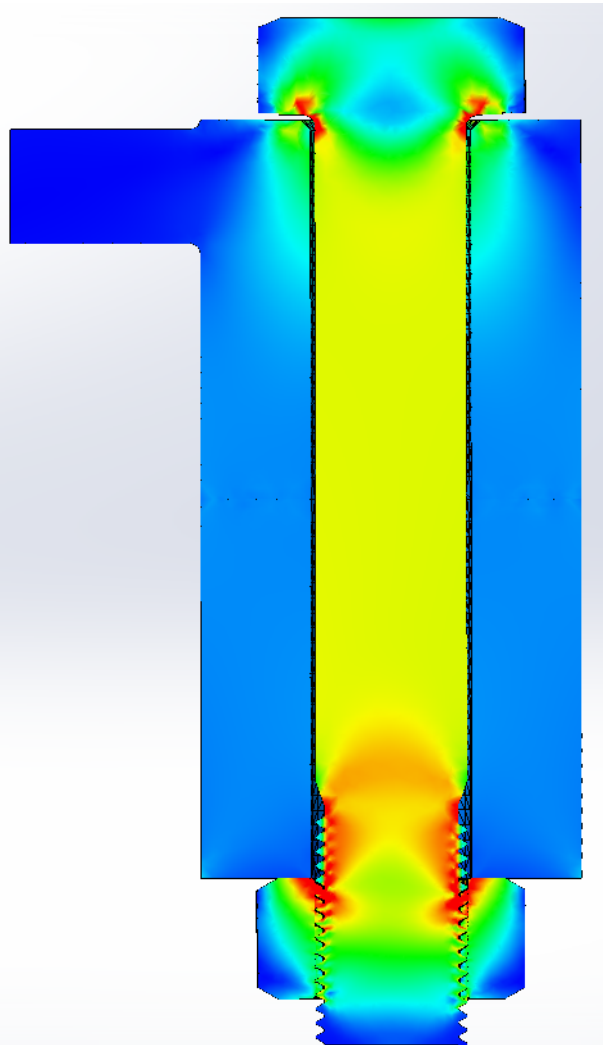


Smart 兹德

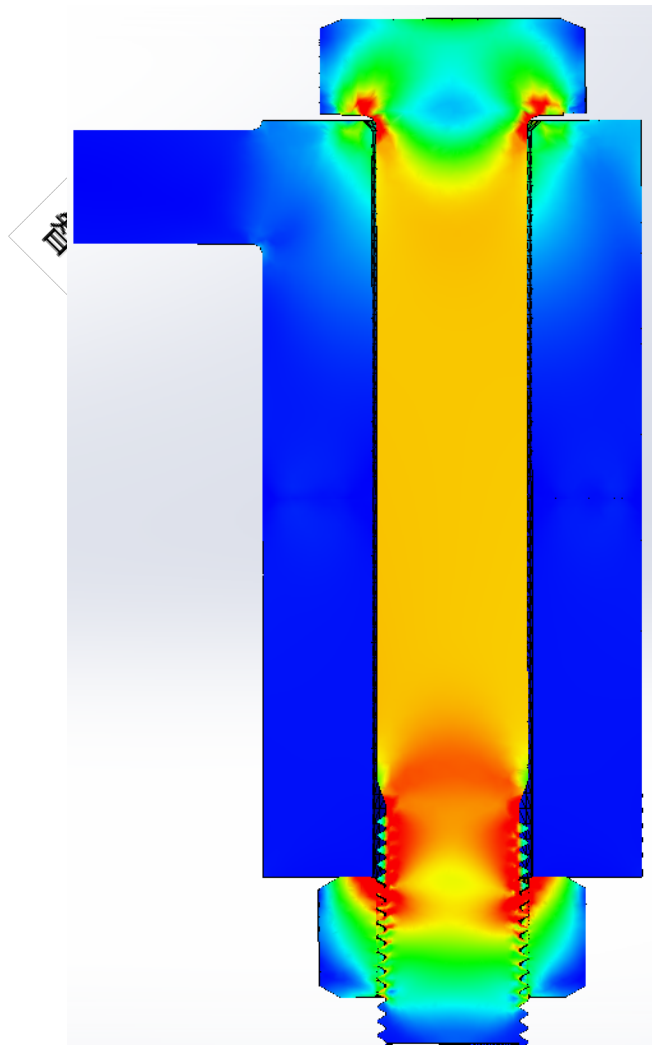
# 8.2如何进行集成仿真?

## 有限元分析的案例研究, 第二部分

- 状态: 只有预紧力

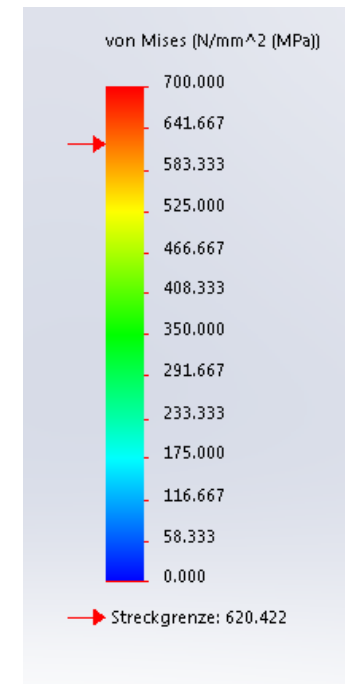


- 状态: 预紧力和工作载荷



问题:

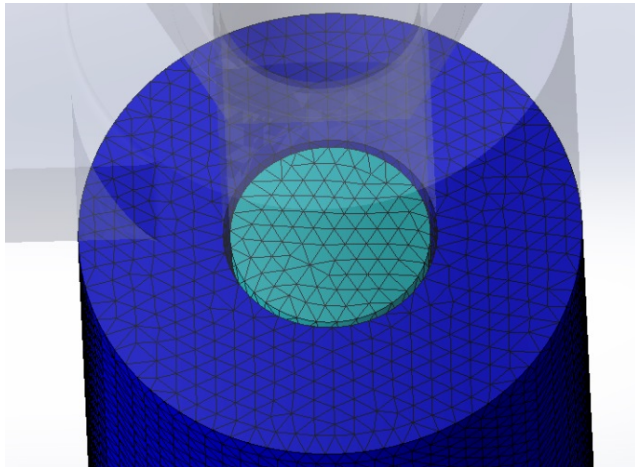
- 螺栓会断裂在哪里?



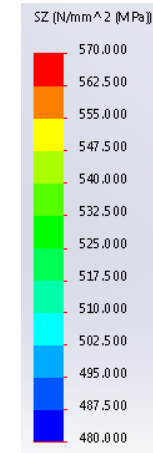
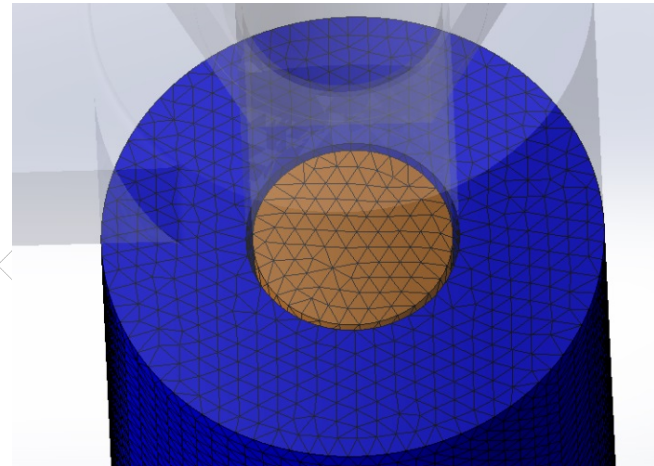
# 8.2如何进行集成仿真?

## 有限元分析的案例研究, 第三部分

– 状态: 只有预紧力

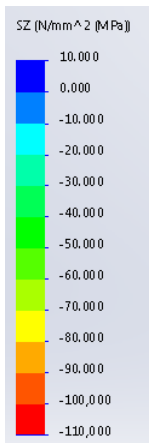
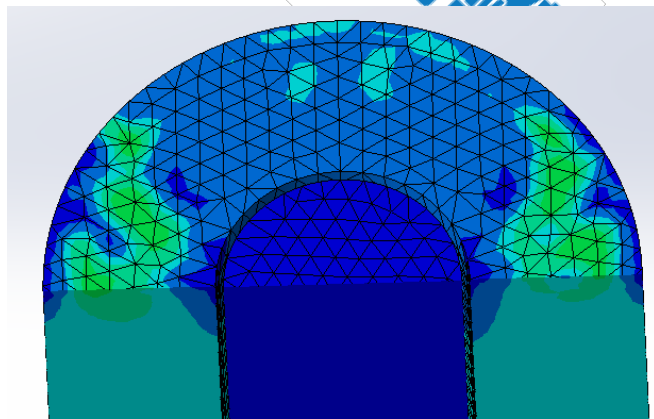
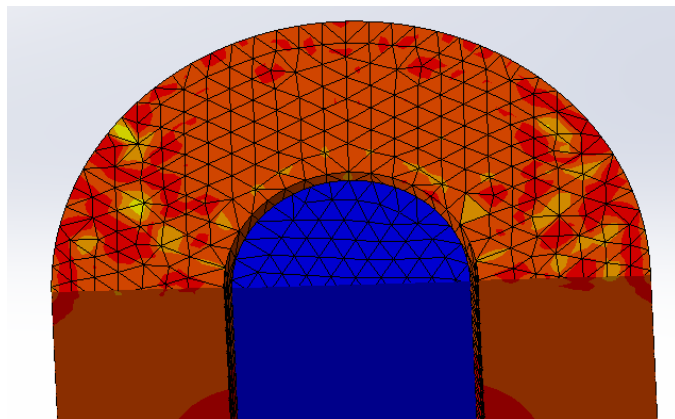


– 状态: 预紧力和工作载荷



问题:

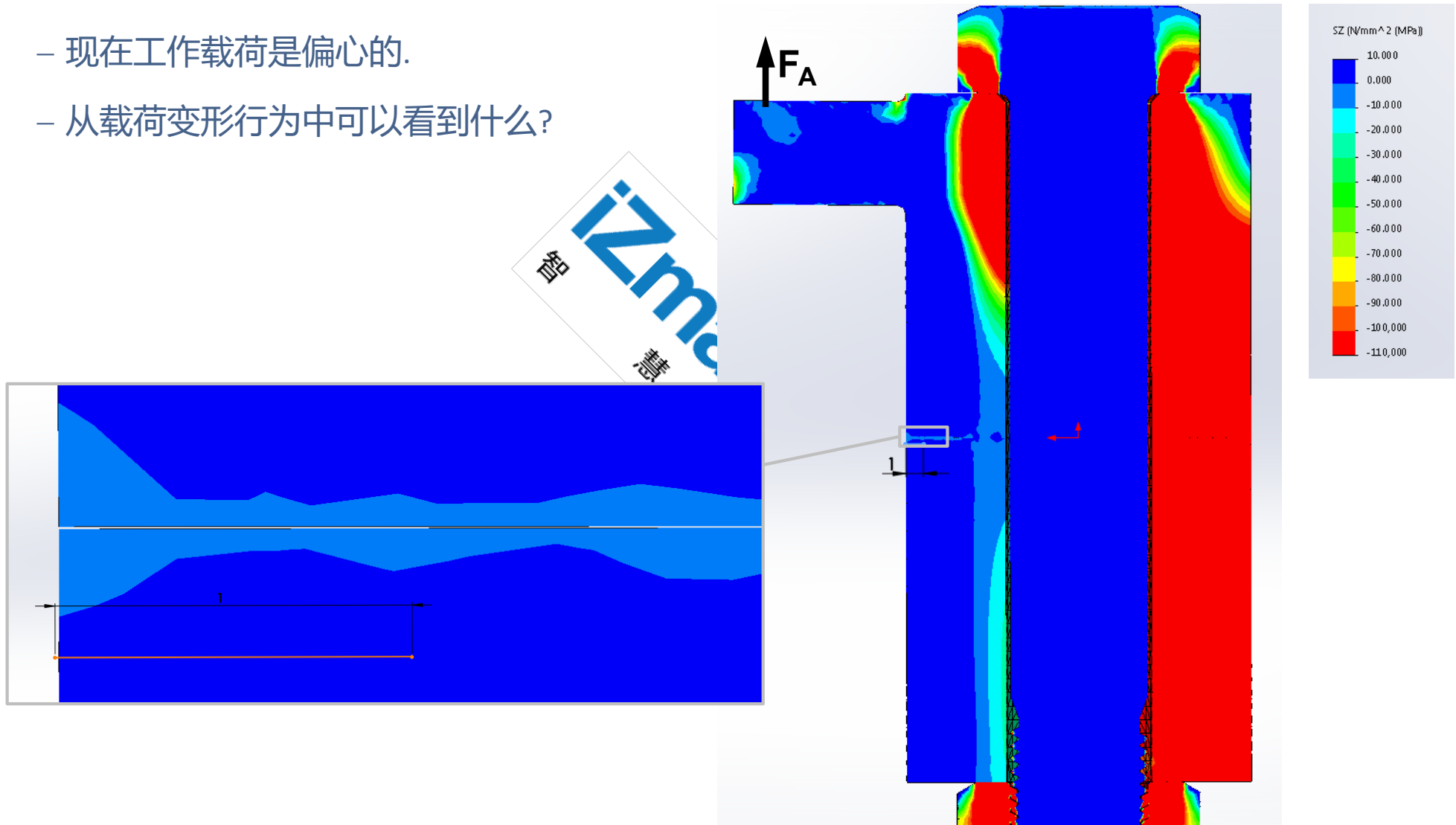
- 我们能从图中看到什么?
- 螺栓的杆部是否过载?
- 夹紧力是否足够?



## 8.2如何进行集成仿真?

有限元分析的案例研究, 第四部分

- 现在工作载荷是偏心的.
- 从载荷变形行为中可以看到什么?

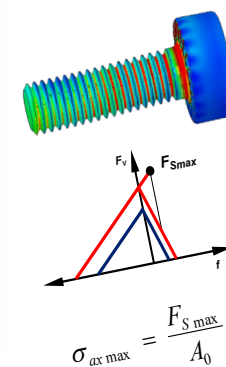
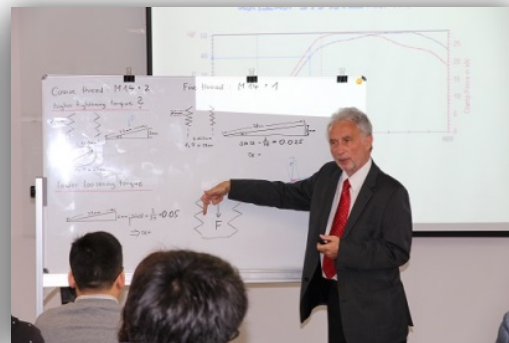




## —上海兹韦克仪器科技有限公司 连接技术学院 简介

—上海兹韦克仪器科技有限公司连接技术学院（以下简称“连接技术学院”）是德国螺栓协会紧固件工程教育培训基地在华连接技术培训及技术咨询服务的载体。

—连接技术学院与德国锡根大学机械学院附属MVP研究院及德国AFS先进连接技术研究所合作，为中国紧固件生产企业、使用单位提供紧固连接知识、技术等方面的互动式研学班培训、技术攻关、复杂有限元分析、模拟仿真等高价值服务。AFS先进连接技术研究所具有长期为德国紧固件生产企业、使用单位服务的丰富经验。



德国最大的拧紧分析设备制造商扎根中国20年，为您贴心提供以下硬件设备：

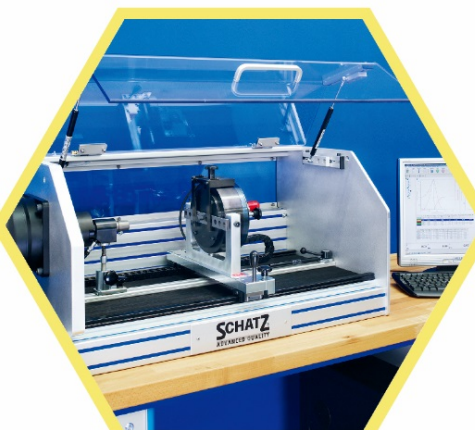
防松设计优化



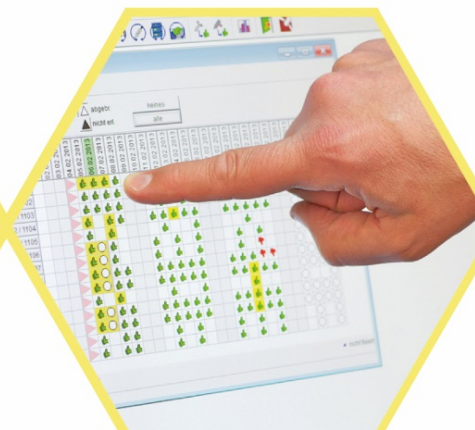
装配工艺模拟



螺栓紧固分析



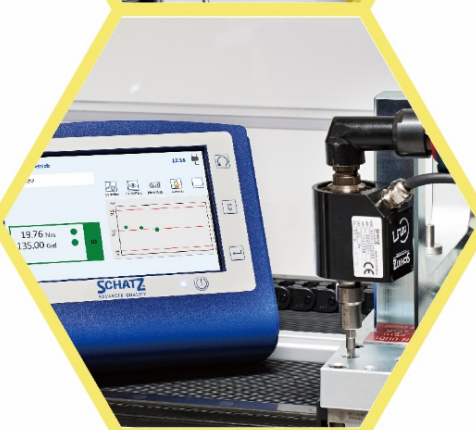
测试结果分析



拧紧工具校准



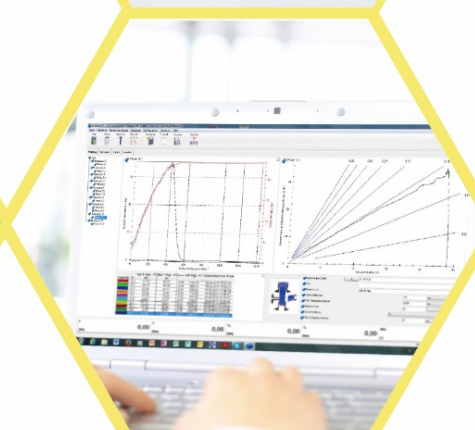
现场扭矩分析



现场轴力分析



智能测试软件



如果您或贵司对紧固连接技术、标准、正向设计、仿真设计和计算等方面有研讨会和技术咨询需求、或检测设备、试验验证方面的需求, 请扫描左侧二维码填写信息。

电话: +86-(0)21-20832512 Email: [ust@zwick.de](mailto:ust@zwick.de)

**Zwick / Roell**

AFS Advanced Fastening Solution





# 感谢您的参与!

## 联系方式



扫码留下您对本次培训的宝贵意见和建议



后续课程报名



关注微信公众号 SchatzAFS, 获取连接技术学院的最新课程信息以及拧紧技术的最新资讯!



- 电话：021-20832583
- 传真：021-53521923
- 邮箱：[ust@zwick.de](mailto:ust@zwick.de)
- 地址：上海市浦东新区王桥路999号中邦MOHO 1022幢
- 邮编：201201

