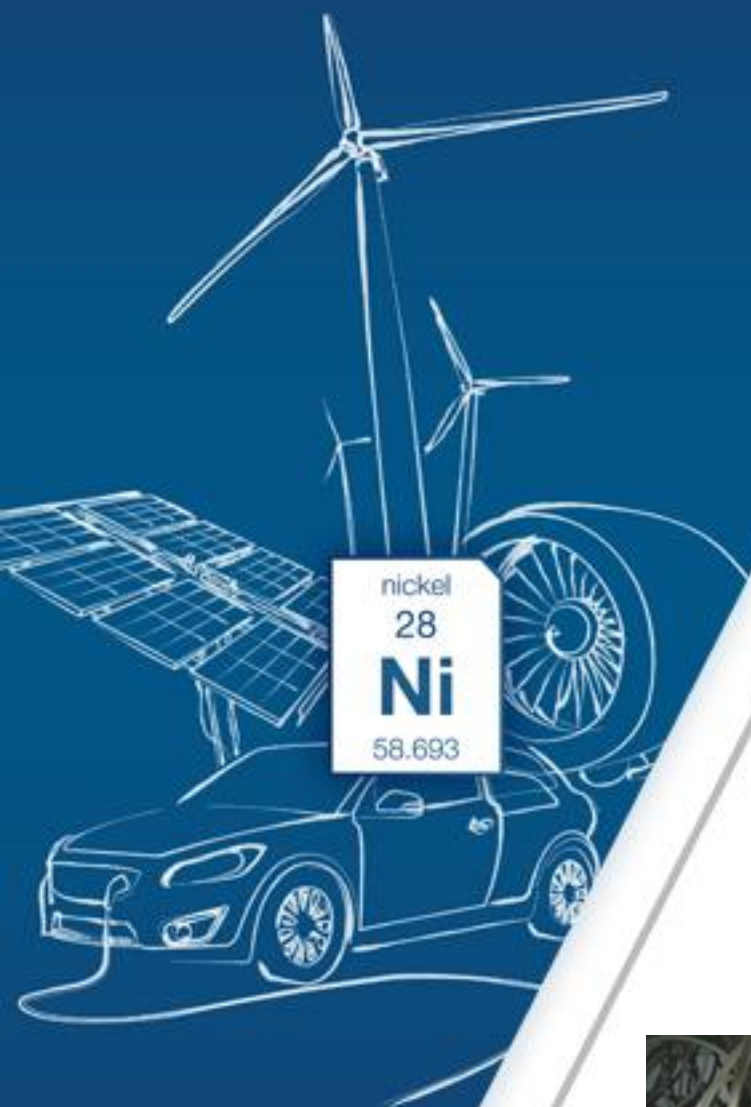




食品和医药工业不锈钢和镍合金应用

Use of Stainless Steels and Nickel Alloys in the Food and Pharmaceutical Industries

国际镍协会: 宋全明
Nickel Institute



简 述

- 约30%不锈钢最终用途与食品工业相关。包括田间，农场，食品生产，包装，运输，食品零售，餐厅，快餐业，以及消费用品等。
- 这个产业链通常会称为“从田间到餐桌”。
- 食品安全是食品工业的基本要求。不锈钢应用占主导地位。
- 医药工业不锈钢的使用量相对较小，但很关键。有时也会纳于化工领域的统计。会涉及各类普通和高合金不锈钢以及镍合金。

Agenda

- ✓ 不锈钢简介
- ✓ 食品和医药工业应用材料性能要求及不锈钢适用性
- ✓ 选择不锈钢的关键要素
- ✓ 材料表面质量和等级
- ✓ 食品工业选材特殊考虑
- ✓ 医药工业选材特殊考虑
- ✓ 消费用品应用选材特殊考虑

2019年不锈钢全球生产规模 (中国是世界最大的不锈钢生产国)

Region	Production 2019 millions of tons	World Production share	Region Growth (2019 vs 2018)
China	29.4	56.3%	+10.1%
Other Asia	12.8	24.5%	-3.7%
Europe	6.8	13.0%	-7.9%
USA	2.6	5.0%	-7.6%
ROW	5.5	10.5%	-2.0
Total	52.2 Mt		+5.7%

Source: ISSF

Over half of all the stainless steel produced is made in China

2019不锈钢系列生产占比 (300系不锈钢产量最大)

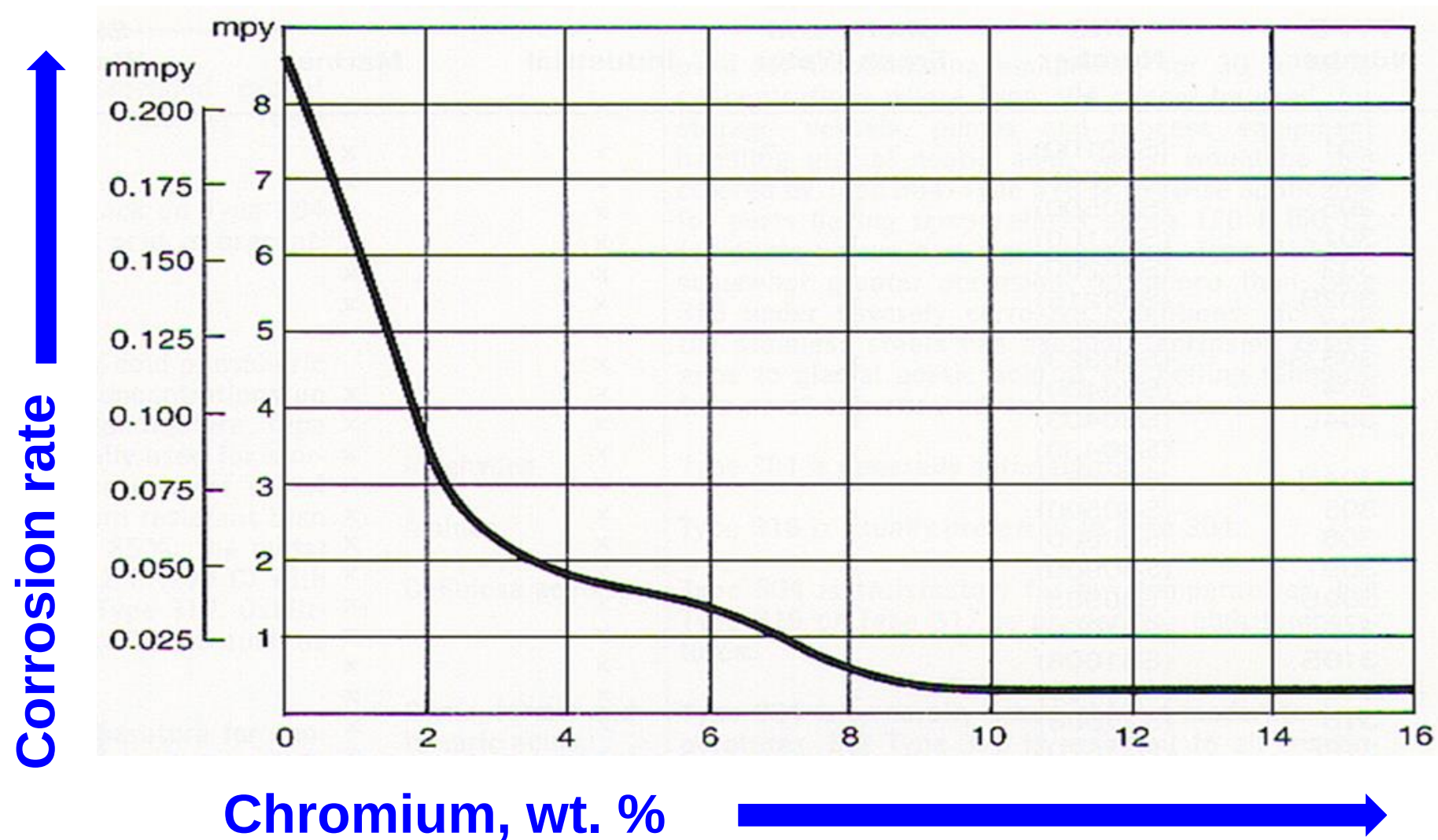
Series	World Production 2019 millions of tons	World Annual Growth (2010-2019)
300 series	28.7	5.4%
200 series	12.8	8.9%
400 series	11.3	3.5%
Total	52.9 Mt	5.7%

Source: Pariser

Over half of all the stainless steel produced is in the 300 series

何为不锈钢?

(钢中加入Cr, 测量其在水汽混合中的腐蚀速率)



Chromium is what makes stainless steel “stainless”

最新不锈钢定义 (ASTM)

- 含最少10.5%Cr的铁基合金，且铁含量高于任何其他元素。
- 之前定义：含铁要高于50%才能称为不锈钢。
- 在钢厂不锈钢的检验报告中，铁含量会标注为“余量”，而不列出具体%含量。

A stainless steel is an iron-based alloy

不锈钢牌号命名

- AISI – 过去常用，现在AISI已不涵盖不锈钢。ASTM沿用AISI不锈钢名称，如Type316L。 AISI 316L写法已不正确。
- UNS numbers –统一编码系统Unified Numbering System
ASTM 和 SAE采用, 每种合金对应专门UNS号。
格式：字母+5位数 - L#####
S = stainless N = nickel alloys W = welding alloys
(316L 的UNS号 S31603; S通常指不锈钢，但也有例外，个别UNS号沿用其历史常用名称)。
- * 中国有类似ISC（钢铁牌号的统一数字代号）。有些和UNS一致，如S31603，有些不同，2205，UNS号 S31803，而ISC是 S22053。

The UNS number is an unique identifier of an alloy

最新镍合金定义 (ASTM)

- 镍含量超过任何其他元素的合金。
 - ✓ 有些镍合金其镍含量可能低于50%;
 - ✓ 过去的镍合金定义与现在不同。例如：合金的铁含量低于50%，但镍含量超过除铁之外的其他元素，过去会归为镍合金，现在归于不锈钢类。而UNS 号系统沿用了之前的归类定义。

Alloy	UNS	Fe	Ni	ASTM 过去	ASTM 现在
904L	N08904	48	25	Ni合金	不锈钢
800	N08800	43	33	Ni 合金	不锈钢
825	N08825	30	41	Ni 合金	Ni 合金

Unlike stainless steel, not all nickel alloys contain chromium

不锈钢分类及晶体结构

- 奥氏体不锈钢Austenitic (300 and 200 series);
- 铁素体不锈钢Ferritic (part of the 400 series)
- 双相不锈钢Duplex (Austenitic-Ferritic)
- 马氏体不锈钢Martensitic (other part of the 400 series)
- 沉淀硬化不锈钢Precipitation Hardening (part of the 600 series)

(金相组织决定于其晶体结构，从而赋予材料不同的机械和物理性能)

There are 5 main families of stainless steels

典型结构及性能特点

奥氏体Austenite	铁素体Ferrite
高韧性High Toughness	低韧性Poorer Toughness
高延展性High Ductility	较好延展性Good Ductility
高温强度较高Good high temp. strength	高温强度低Low high temp. strength
焊接性好Good Weldability	有限焊接性Limited Weldability
成型能力好High Formability	成型性能一般Good Formability
敏感于Cl致应力腐蚀sensitive Cl -stress corrosion	敏感于氢脆Sensitive to hydrogen embrittlement
高热膨胀Higher Thermal Expansion	热膨胀系数低Lower Thermal Expansion
低热导率Low Thermal Conductivity	高热导率Higher Thermal Conductivity
无磁性Non-magnetic	铁磁性Ferro-Magnetic

The crystal structure gives different properties to the metal

常见300系 奥氏体不锈钢

Grade	Cr	Ni	Mo	N	C (max)	Other
304	19	9	-	0.06	0.08	
304H	19	9	-	0.06	0.04-0.10	
304L	19	9	-	0.06	0.030	
321	18	10	-	0.04	0.08	Ti
347	18	11	-	0.04	0.08	Nb
316L	17	11	2.2	0.06	0.030	
317L	18	12	3.2	0.06	0.030	
904L	20	25	4.5	0.04	0.020	
Alloy 20	20	33	3.0	0.04	0.07	Nb, Cu
6%Mo*	19-20	18-24	6.2	0.20	0.020	(Cu)

*Various grades fit into these families

Black = corrosion-resistant

Red = high temperature

Blue = used in both

常见铁素体不锈钢

Grade	Cr	Mo	N (max)	C (max)	Other
409	11	-	0.03	0.03	Ti=6x(C+N)
409Ni*	11	-	0.03	0.03	Ni
430	17	-	0.03	0.12	
439	17	-	0.04	0.12	Ti=0.2+4(C+N)
444	18	2.0	0.035	0.025	(Ti+Nb)=0.2+4(C+N)
29-4	29	4.0	0.03	0.045	Ti
446	25	-	0.25	0.20	-

409Ni* - a weldable ferritic-martensitic grade, best known as 3CR12 or 4003. It is not a true ferritic, has wider applications as it can be welded in thicker sections.

Black = corrosion-resistant Red = high temperature Blue = used in both

Most of the tonnage of ferritic SS is for non-industrial applications

200 系不锈钢

Grade	Cr	Ni	Mo	N	Mn	Other
201L	17	4.5	—	0.15	6.5	
304L	19	9	—	0.06	1.0	
N50 (Nitronic 50)	22	12.5	2.2	0.30	5.0	Nb, V
L1	15	4.0	-	0.08	7.5	Cu
L4	15.5	1.0	-	0.15	9.2	Cu

There are 3 subgroups of 200 series alloys

双相不锈钢

(五大类双相不锈钢，每类下有多个牌号钢种。)

<u>Family</u>	<u>Example</u>	<u>Cr</u>	<u>Ni</u>	<u>Mo</u>	<u>N</u>	Other
Lean	2101	21.5	1.5	0.3	0.22	Mn
Low alloy	2304	23	4.5	0.1	0.12	
Standard	2205	22.5	5.5	3.2	0.17	
Superduplex	2507	25	7	4.0	0.28	
Hyper	3207 HD	32	7	3.5	0.5	Mn

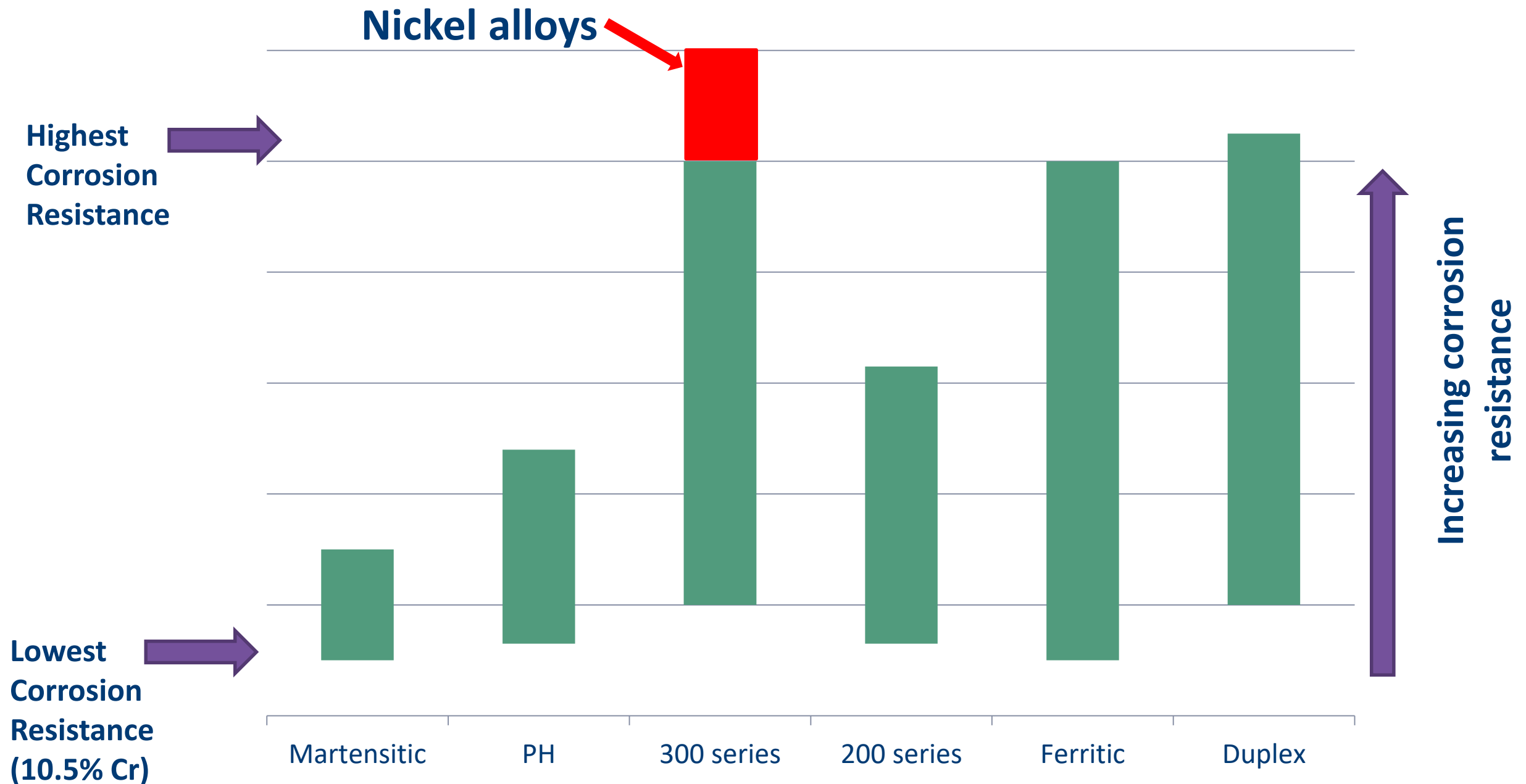
Duplex SS can be divided into 5 main families

可硬化不锈钢

	马氏体 Martensitic	沉淀硬化 Precipitation Hardening
硬化机制 Hardening mechanism	淬火回火马氏体 Heat treat and quench to form martensite, then temper	时效处理析出强化相 Heat to a certain temperature where precipitates are formed
硬度 How hard?	高碳型牌号硬度大HRC60以上 High carbon grades can reach HRC 60+	硬度HRC55以上，略低于马氏体不锈钢 Little less hardenable, HRC 55+
耐腐蚀能 corrosion resistance	通常耐腐蚀性劣于304 Generally much less than 304	耐腐蚀性接近304 Most grades closer to 304
焊接性 Weldability	难焊接，含碳量越高，焊接性越差 Difficult, the higher the carbon, the greater the difficulty.	焊接性较难，有挑战性 Less difficult, but still challenging.

Hardenable grades have challenges in welding

各类不锈钢耐腐蚀性



Agenda

- ✓ 不锈钢简介
- ✓ 食品和医药工业应用材料性能要求及不锈钢适用性
- ✓ 选择不锈钢的关键要素
- ✓ 材料表面质量和等级
- ✓ 食品工业选材特殊考虑
- ✓ 医药工业选材特殊考虑
- ✓ 消费用品应用选材特殊考虑

耐腐蚀性能：一般性原则

- 没有那种合金适合所有应用环境；
- 应用环境未知道时，不能认为某种合金耐腐蚀性会优于另一种；
(如：在某些化学环境下，316L耐腐蚀性可能低于304L)
- 高合金不一定意味着比低合金耐腐蚀性好。

耐腐蚀性 - 不锈钢镍合金腐蚀种类

- 均匀腐蚀General (or uniform) corrosion
- 局域腐蚀Localized corrosion
 - ✓ 点腐蚀pitting / 缝隙腐蚀crevice corrosion
 - ✓ 应力腐蚀开裂stress corrosion cracking
 - ✓ 晶界腐蚀intergranular
 - ✓ 电偶腐蚀galvanic (or dissimilar metal)
 - ✓ 微生物腐蚀MIC (Microbiologically Influenced Corrosion)
 - ✓ 侵蚀, 腐蚀erosion-corrosion
 - ✓ 腐蚀疲劳corrosion fatigue

腐蚀形式和机制很多，选材时要评估材料可能发生的腐蚀类型，基于可能发生的腐蚀机制，制定合金焊接和制造的合适工艺。

食品和医药工业应用领域对材料性能的要求?

产品接触的材料性能

不析出有害物质到接触产品

与接触产品不发生反应 (食品味道, 口感等)

表面质量易于清洗沉积物

适合反复清洗和消毒, 清洁卫生处理

表面不易吸附接触产品

优良强度, 不脆化, 无涂层

易成型, 焊接, 机加工, 损毁时易于修复

性能不随时间变化

外表美观 (表观无菌, 外观漂亮)

适中的成本, 以及各种材料产品易于获得

满足本国和国际相关标准

选材综合考虑

- ✓ 不存在理想材料：高强度，易焊接，不腐蚀，长寿命，可获得各种产品形式，低成本等；
- ✓ 实际选材需折衷考虑，合适材料满足必要的性能要求；
- ✓ 选择合适不锈钢表面质量（光洁度）；
- ✓ 在医药业，有时会用到镍合金。

不析出有害物质到接触产品

- 任何材料都会有析出，只是程度不同，即使甚微， ppm, ppt, ppq;
- 合适的不锈钢可以满足金属析出的政府和行业要求。
- 类似土壤，食物和饮用水天然含一些微量金属元素；
- 医药工业，有时对金属析出有更严格的限制，从而会用到更高合金的不锈钢或镍合金。

与接触产品不发生反应(食品味道，口感等)

- 食品工业百年历史证明，不锈钢是食品，饮料，特别是牛奶业最合适的材料。



Credit: Food Handling Advances,
U.S. Steel, 1935

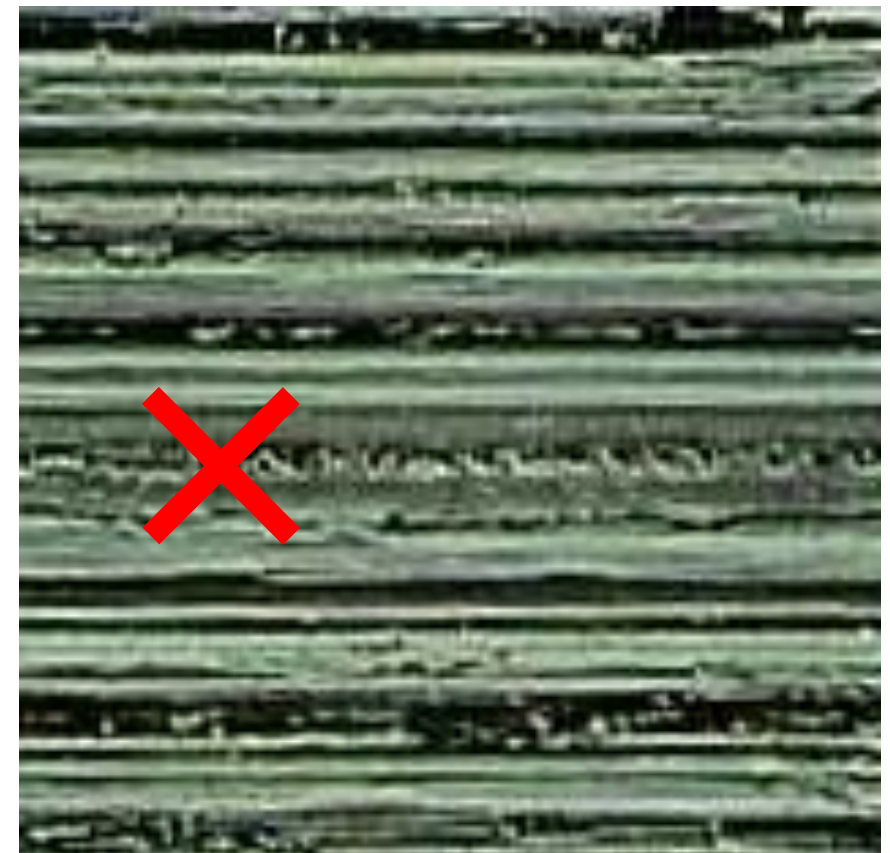
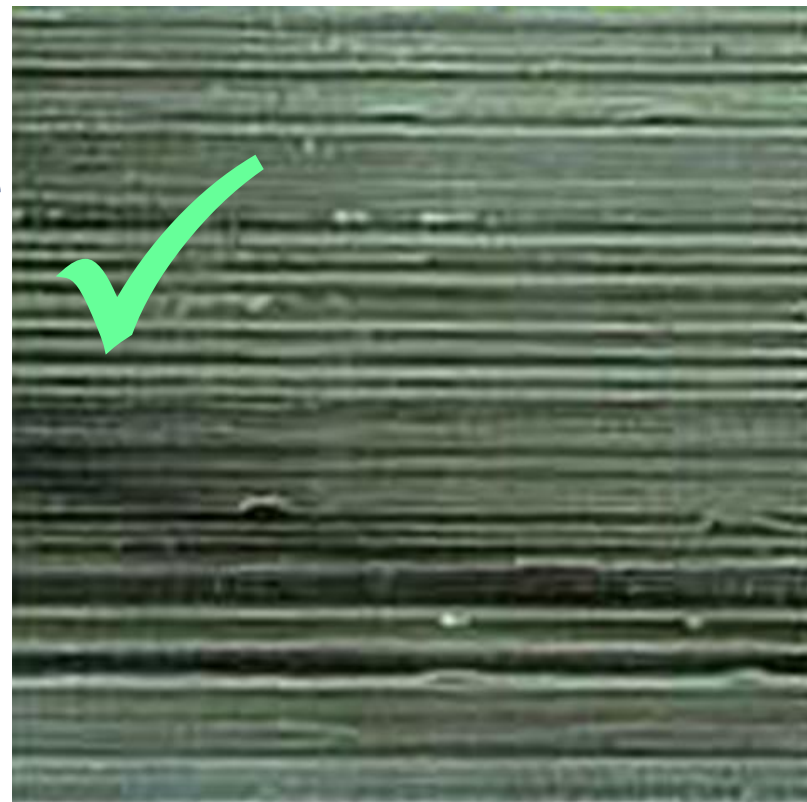
表面质量易于反复清洁及卫生处理

- 光洁的不锈钢表面易于清洗，满足现场清理CIP (cleaning in place)要求；
- 可承受高温蒸汽，腐蚀性清洗液（酸性或碱性等），如次氯酸钠和过氧化氢（双氧水）。（前提：正确使用）；
- 通常清洁，消毒用化学物质比食物更具腐蚀性；
- 食品制造商最担心的是他们的设备被细菌污染，且没有做适当消毒处理；
- 对医药工业而言，清洁，卫生，消毒通常会更严格。不锈钢仍可很好地满足这些要求。

表面质量易于反复清洁及卫生处理

- 欧洲食品接触材料表面要求：粗糙度 Ra max. $0.5\mu\text{m}$ roughness,
- 北美 (3-A) Ra max. $0.8\mu\text{m}$,
- 高品质#4 表面或光面处理2D 或2B可满足要求。
- 欧洲标准要求定义为“Clean Cut”表面 #4.

**Clean cut surface
Good performance**



**Torn, damaged surface
Poor performance**

表面不易吸附接触产品

- 与塑料和人造橡胶不同，食品和药物不会扩散渗入金属；

优良强度，不脆化，无涂层脱落

- 奥氏体不锈钢在室温和低温下均具高强度及良好韧性；
- 不存在涂层可能产生的问题；
- 双相不锈钢可满足高强度受力部件（如搅拌器，泵阀）的性能要求；
- 沉淀硬化不锈钢（PH）有更高的机械性能，但其焊接性较差；
- 需要高硬度时，可使用马氏体不锈钢。但要考虑到它的一些局限性：脆性，耐腐蚀差。使用以及卫生处理过程需要更加小心。

***食品制造业另一担忧是食物中发现夹杂物（如金属，玻璃，塑料，橡胶等）**

易成型，焊接，机加工，损毁时易于修复

- 奥氏体不锈钢易于成型，焊接和修复。即使比碳钢工艺复杂，但在食品接触应用中，奥氏体不锈钢优异的加工性能备受青睐；
- 世界制造业积累了丰富宝贵的不锈钢加工制造经验和技術，为产品性能和质量提供了保障！
- 一些304L和316L的特殊钢种有更好的机加性能，如易切削303不锈钢硫含量较高，其耐腐蚀性逊于304，因此使用时要格外小心。

性能不随时间变化

- 塑料和橡胶随时间其性能会显著变化（劣化），而不锈钢性能稳定。

表面无菌，外观漂亮

- 不锈钢表面干净，光滑闪亮，看起来非常卫生清洁。特别适合食品生产及医药制品行业；
- 食品，医药制品检验人员也青睐干净，光滑和闪亮的表面。

适中的成本易于获得

- 不锈钢综合成本合理，且304和316产品形式丰富，可满足不同需求。而塑料则没有这一优势。

满足本土和国际相关标准

- 基于食品安全考虑，各级政府都将304L和更高合金的不锈钢列为食品工业首选材料。

Agenda

- ✓ 不锈钢简介
- ✓ 食品和医药工业应用材料性能要求及不锈钢适用性
- ✓ 选择不锈钢的关键要素
- ✓ 材料表面质量和等级
- ✓ 食品工业选材特殊考虑
- ✓ 医药工业选材特殊考虑
- ✓ 消费用品应用选材特殊考虑

食品饮料业用不锈钢（通则）

- 非腐蚀性食品，温度100°C内（中性PH或弱碱性，不含盐）
 - 如奶业，啤酒业等，
 - 低合金不锈钢也不会有腐蚀风险，但清洗和卫生处理会使用化学物质，因此仍要求材料最低为304L。某些标准要求不低于16%Cr的不锈钢。



Modern Brewery using 304L



Milk packaging line, 304L stainless steel used extensively

食品饮料业用不锈钢（通则）

- 含盐食品，中性PH，最高温度25°C
 - 如，海鲜加工，肉禽加工，通常使用304L 不锈钢，个别会使用316L
- 含盐食品，中性PH，最高温度~60°C
 - 通常使用316L 不锈钢
- 含盐食品，中性PH，最高温度 ~100°C
 - 如 – 面食烹饪 (无酱料), 加热咸奶酪，通常使用2205 双相不锈钢，或 904L / 6%Mo

超级奥氏体不锈钢

German meat preparation
plant, counters and bins
are 316L



食品饮料业用不锈钢（通则）

- 含盐食品，酸性PH，最高温度25°C
 - 如，腌渍，通常使用316L 不锈钢，个别情形使用2205双相不锈钢
- 含盐食品，酸性PH，最高温度~100°C
 - 如，番茄柿，酱油，通常使用超级双相不锈钢（如2507），或904L / 6%Mo 奥氏体不锈钢。



Soy sauce fermentation tanks, some with a lower pH and higher temperature require the use of high alloyed SS.
Courtesy: Nippon Yakin

食品饮料业用不锈钢（通则）

- 某些部件需要高硬度和高强度，可选择马氏体不锈钢和沉淀硬化PH不锈钢。通常刀片在卫生处理后需要冲洗并干燥处理。



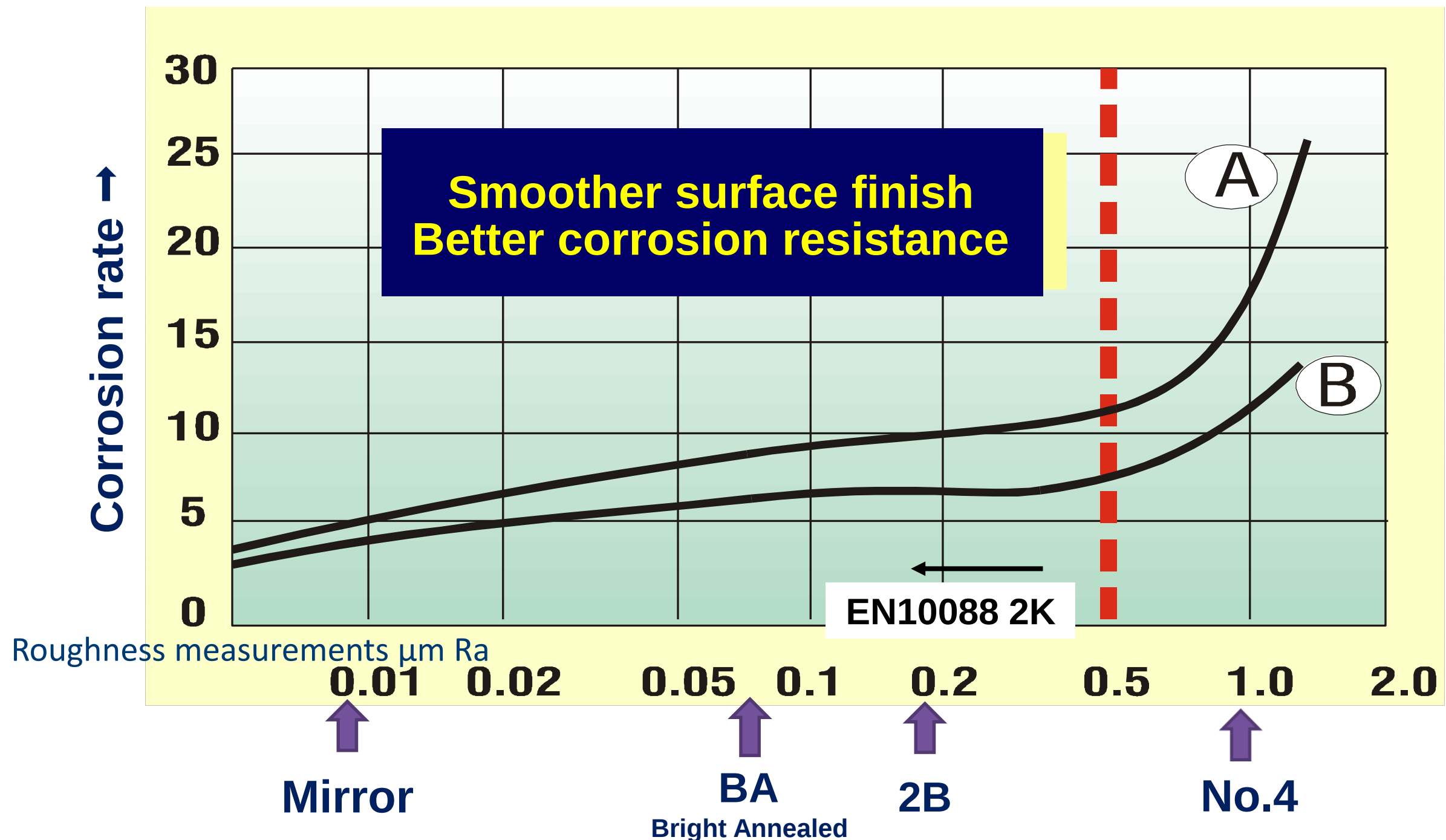
Inspecting the blades of the main meat cutting machine at a sausage factory. Blades are a martensitic (hardenable) SS. Rest of equipment is 316L. 33

Agenda

- ✓ 不锈钢简介
- ✓ 食品和医药工业应用材料性能要求及不锈钢适用性
- ✓ 选择不锈钢的关键要素
- ✓ 材料表面质量和等级
- ✓ 食品工业选材特殊考虑
- ✓ 医药工业选材特殊考虑
- ✓ 消费用品应用选材特殊考虑

表面质量 (光洁度)

- 欧洲 Ra 0.5 μm max. 横向 (整齐切口)
- 美国 (3-A) Ra 0.8 μm max.



表面质量（光洁度）

- 上图的表面光洁度为大致对应的平均值。典型的No.4 表面大致对应 Ra 1 μ m，而高品质No.4 表面粗糙度甚至可达0.5 μ m或更光滑表面；
- 过去20余年，在欧洲和北美，表面光洁度的要求已列入行业标准；
- 光滑表面不仅可提高材料耐腐蚀性，而且可有效抑制表面形成沉积，从而方便快速有效的清洗。



Agenda

- ✓ 不锈钢简介
- ✓ 食品和医药工业应用材料性能要求及不锈钢适用性
- ✓ 选择不锈钢的关键要素
- ✓ 材料表面质量和等级
- ✓ 食品工业选材特殊考虑
- ✓ 医药工业选材特殊考虑
- ✓ 消费用品应用选材特殊考虑

食品接触表面

定义: 食品接触面指和食物直接接触的设备或器皿的表面, 以及哪些在食品排放, 滴落, 或飞溅可能附着的表面。

因此, 不仅是加工处理容器, 包括准备和存储区域, 以及包装线, 支撑结构, 其他设备, 排放管道, 甚至地面, 墙壁, 屋顶内面等可能理解为食品接触面。

在北美, 宠物食品加工也需要满足和人用食品同样的要求。

欧洲, 北美不锈钢使用情况:

大约 90% 的食品接触表面材料为304L不锈钢.

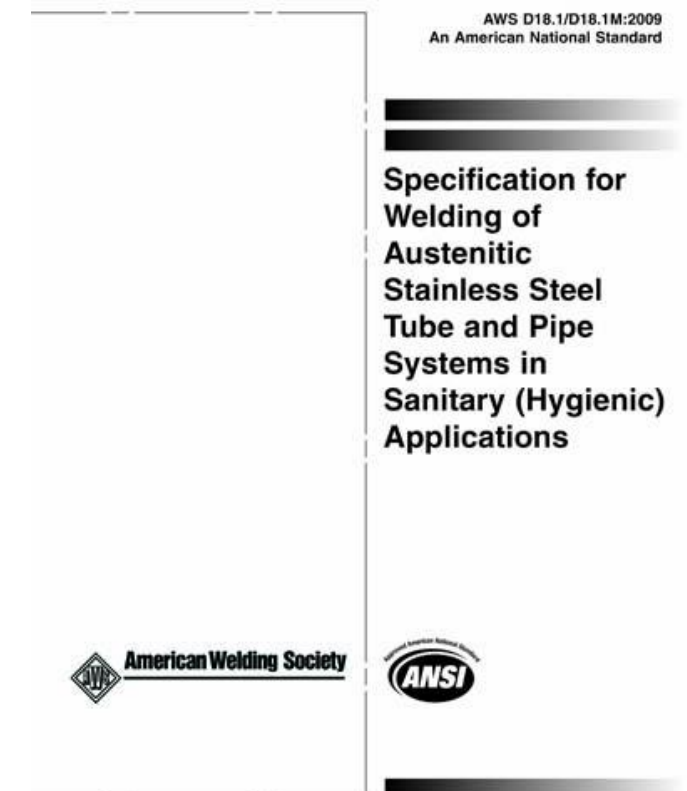
约 5%为 316L.

约 5% 是其他高合金, PH和马氏体不锈钢, 以及200和400系列不锈钢。

设备设计

不锈钢选择极为重要。但合理有效的设计亦同样重要，包括设备，管道系统，台面及展示区等。

- 所有食品接触面都设计为可进行清洗和卫生处理。若可能，设备应可拆解方便全面清洗。
- 设计应避免产生缝隙，以及不容易清洗和卫生处理的区域。
- 焊接内表面质量高要求，避免产生会富集食品的粗糙面，孔洞以及其他缺陷. (AWS D18.1)
- 食品接触面焊接回火色必须最大程度去除。

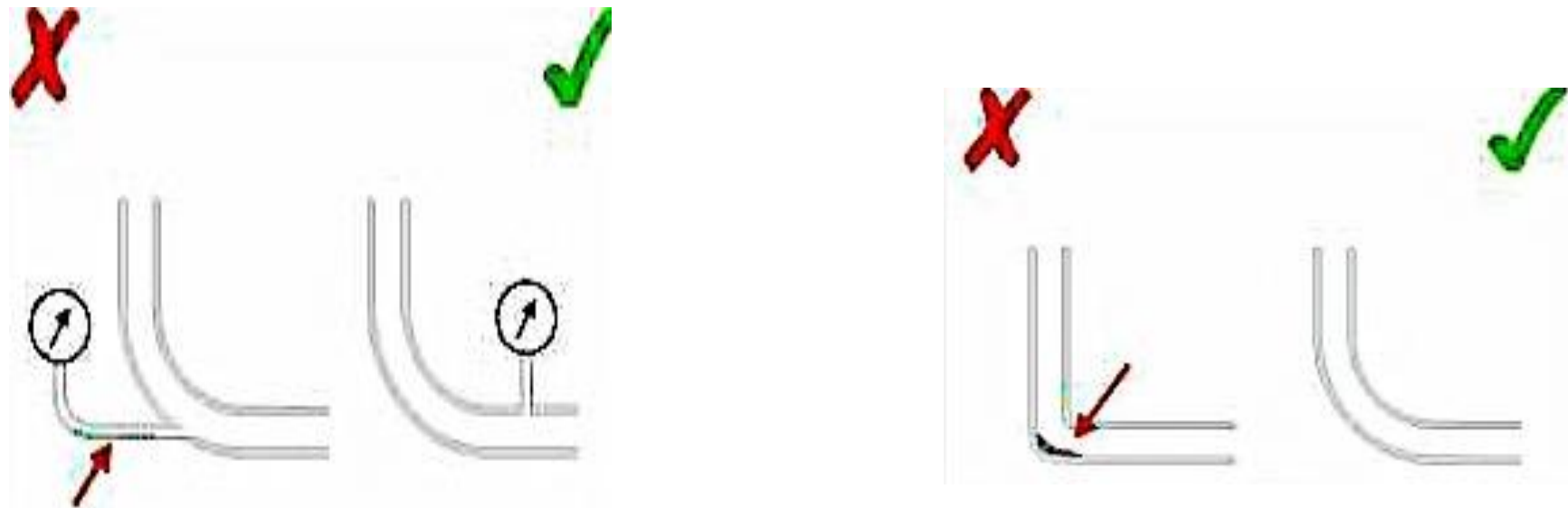


食品设备设计

欧洲卫生设备设计组织(EHEDG)
美国3A卫生标准

Design for food contact

[Courtesy of Euro Inox]

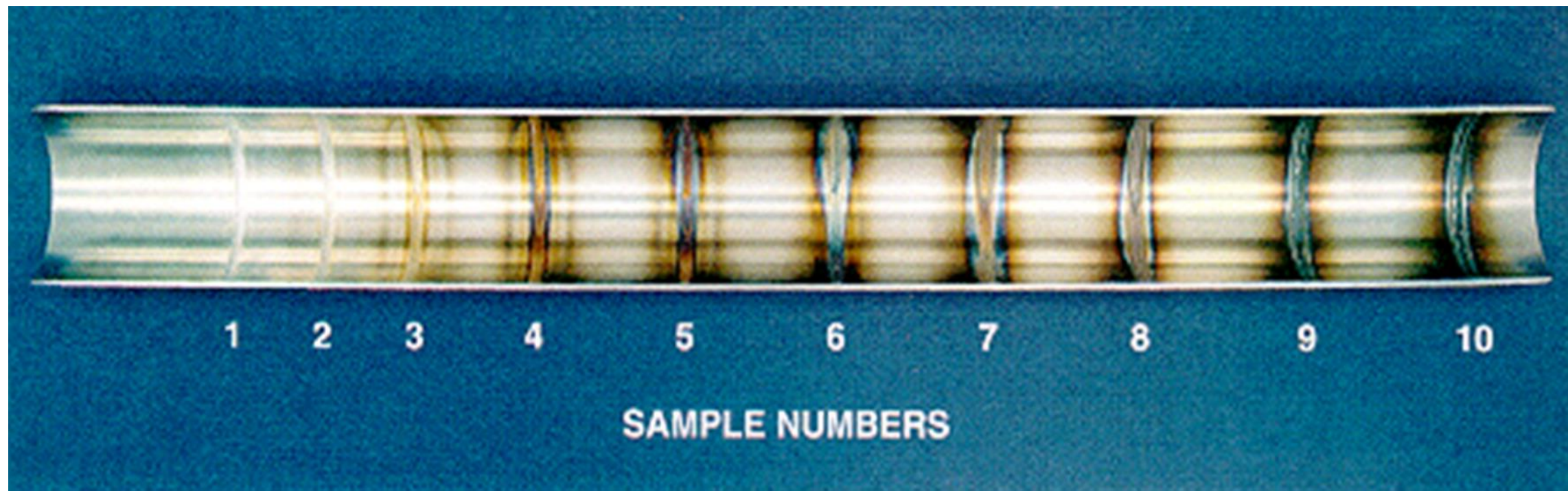


Dead arms and tight bends can harbour food residues

Careful material selection and design is essential

焊接回火色

AWS D18.2 指南，奥氏体不锈钢管内壁焊接回火色等级



样本指数对应保护气体氧含量 (ppm) :

No.1 – 10	No.3 – 50	No.5 – 200	No.7 – 1000	No.9 – 12500
No.2 – 25	No.4 – 100	No.6 – 500	No.8 – 5000	No.10 – 25000

备注: 304L和316L焊接回火色表现相近

Agenda

- ✓ 不锈钢简介
- ✓ 食品和医药工业应用材料性能要求及不锈钢适用性
- ✓ 选择不锈钢的关键要素
- ✓ 材料表面质量和等级
- ✓ 食品工业选材特殊考虑
- ✓ 医药工业选材特殊考虑
- ✓ 消费用品应用选材特殊考虑

医药工业

- 主要技术规范是 ASME BPE (BioProcessing Equipment), 而企业通常也会有其他一些要求;
- 通常医药设备最低选材是316L, 而特种不锈钢 (如双相不锈钢和6%Mo超级奥氏体) 以及很多镍合金也是标准选材;
- 而304L最常用于包装线;
- 某些医药生产类似食品工业, 其他情形类似有高温和腐蚀化学物品的化工厂。

ASME BPE-2019
(Revision of ASME BPE-2016)

Bioprocessing Equipment

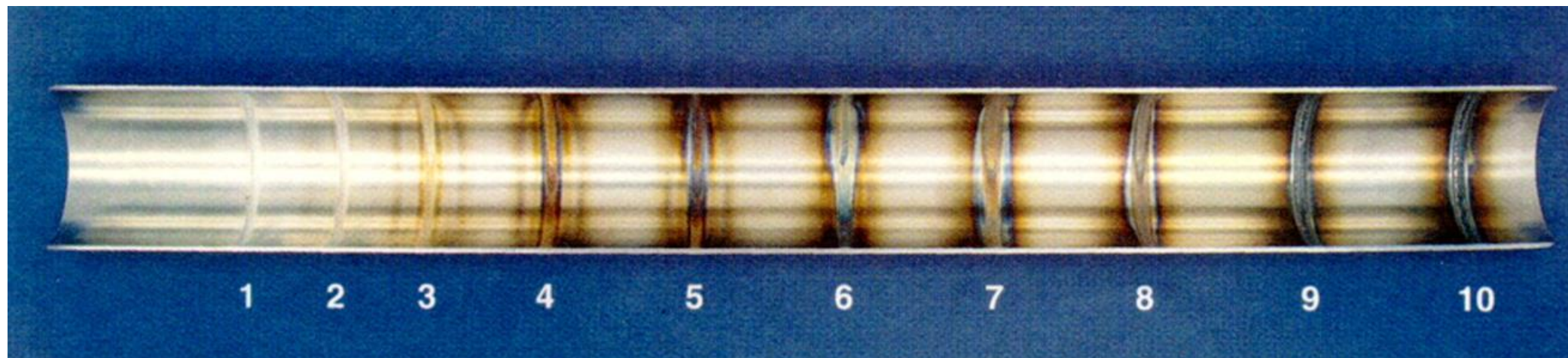
AN INTERNATIONAL STANDARD



The American Society of
Mechanical Engineers

医药工业

- 通常需要做电抛光表面处理。根据原材料情况，其粗糙度Ra大约在0.05 to 0.6 μ m的范围。电抛光表面技术标准很重要。要获得更好的粗糙度，电抛光之前其表面必须确保光滑；
- 电抛光亦可祛除金属表面夹杂，从而提高其耐腐蚀性能；
- 相比于食品工业，医药工业对焊接质量要求更苛刻；
- 回火色指数通常要求不高于3。



Agenda

- ✓ 不锈钢简介
- ✓ 食品和医药工业应用材料性能要求及不锈钢适用性
- ✓ 选择不锈钢的关键要素
- ✓ 材料表面质量和等级
- ✓ 食品工业选材特殊考虑
- ✓ 医药工业选材特殊考虑
- ✓ 消费用品应用选材特殊考虑

日用消费产品

- 这类产品不同于餐厅，快餐连锁以及食品加工使用的器皿和设备。他们通常不需要频繁的卫生消毒处理；
- 人们通常对日用品不锈钢制造品，如锅盘，器皿等，期望可长久使用而不损坏（如点腐蚀）；
- 很多人喜欢TYPE 304不锈钢的白亮抛光处理。而200系不锈钢会呈浅灰色，400系不锈钢为灰色的外观。



日用消费产品

- 没有专门技术规范，实际可参考美国U.S. NSF 51的技术标准；
- NSF-51 规定食品接触区域使用的不锈钢其Cr含量不得低于16%；
- 刀具刀具产品或类似产品，当合金需淬火回火强化处理时，允许其Cr低于16%。（马氏体不锈钢）



结 语

- 综合考虑，不锈钢是食品接触应用的良好材料和合适选择；
- 医药工业依赖不锈钢及镍合金以确保满足其产品纯度等苛刻要求；
- 了解应用环境至关重要。同时，选材，表面质量以及设计也很关键。

国际镍协会在线技术咨询服务 Technical Service

ASK THE EXPERTS

Technical Help

Our team of technical experts are on hand to answer your

<https://inquiries.nickelinstitute.org/>

Find out more →

WeChat Technical Service

微信中文技术咨询

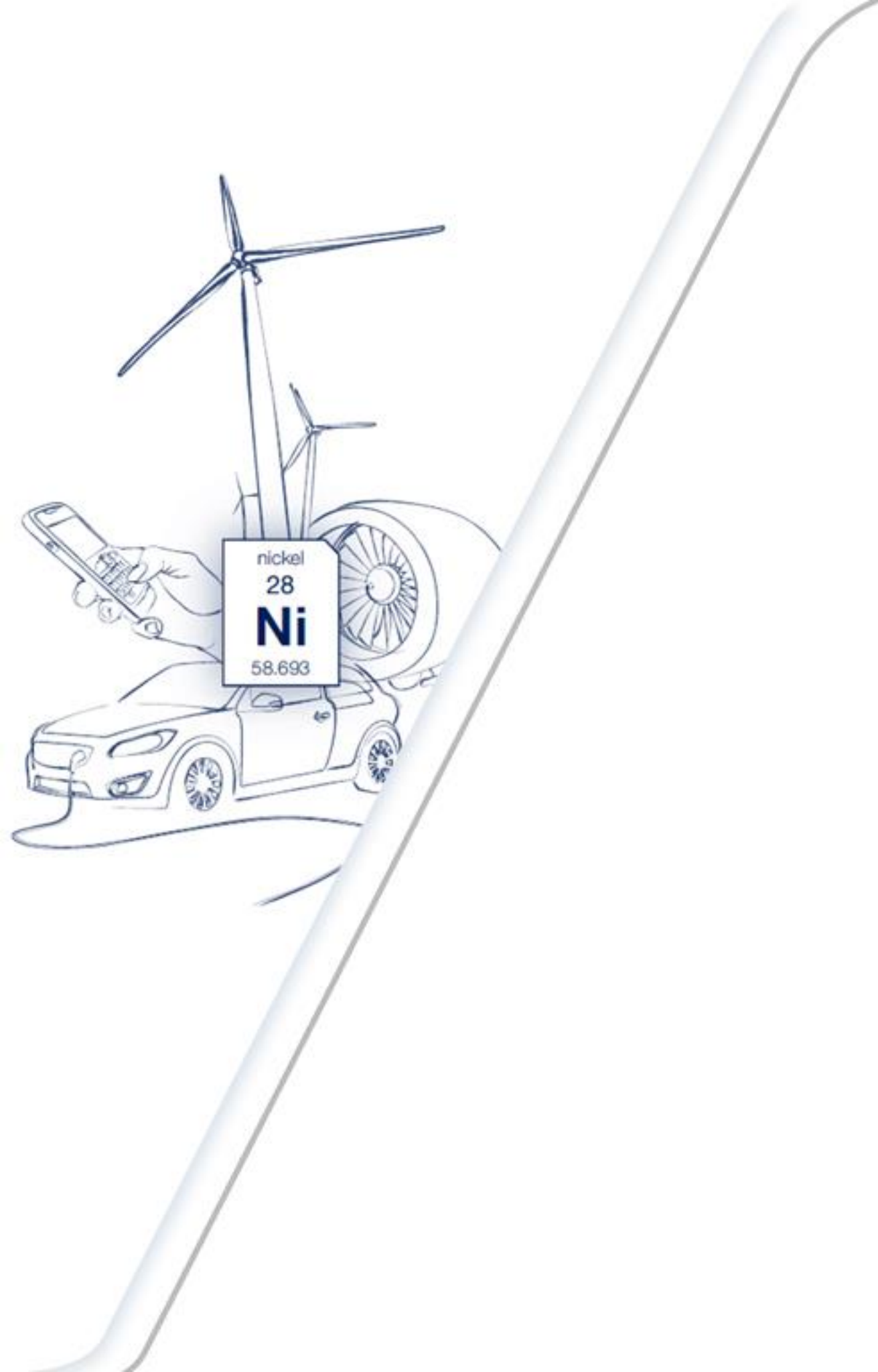
微信公众号：
NIBJ1997



Tech
service

在“技术交流”栏目下，新增了“**在线免费技术咨询**”环节，实现了国际镍协会多年来在全球范围内提供的“**免费技术支持**”的中英文对接。我们拥有由全球资深技术专家组成的顾问网络，来自全球的高水平专家将向您提供关于镍及含镍材料（如不锈钢、镍合金等）的性能、用途和加工制作方法等方面知识，帮助您实现性能优化、安全处置和使用。





Question?

谢 谢!