

### 一般性能 (General properties)

439 钢种是加钛稳定、含 18 %Cr 的合金，为铁素体不锈钢，能耐从淡水到沸腾酸的许多氧化环境的污染。它可在退火以后、冷轧或焊后原状的情况下使用，能应用于可以使用其他不锈钢合金，如 304、410、409 和 430 的许多地方。439 钢种或许也可用于许多氧化环境，在那些场合，403 钢种足以耐一般的腐蚀但会发生氯化物应力腐蚀裂纹。

439 钢种的成分已被平衡得可在所有的温度下保持完全的铁素体结构，以避免焊接后延性降低并能耐晶间腐蚀。类似的铁素体不锈钢，如 430 和 434，具有焊接后脆性马氏体构造和焊后原状晶间腐蚀的敏感性。439 钢种焊接后不需要用退火来恢复延性，或保持耐晶间腐蚀的性能。

439 钢种极好的抗应力腐蚀裂纹的性能、良好的焊接性能、高导热性和低热膨胀特性，是其应用于很多场合的理想依据。在壳管式换热器中，碳钢外壳与 439 钢种管道一起使用，由于它们的热膨胀系数紧密相配，可能不需要在换热器中使用膨胀接头。与 304 钢种相比，439 钢种 Co 含量低，在核能方面的应用具有吸引力。

对于 409 钢种来说使用温度太高的地方，439 钢种则能保持良好的耐氧化和腐蚀性能，因而可用于制造许多汽车排气系统的零部件和住宅用炉的一次热交换器。

### 结构 (Structure)

439 不锈钢为铁素体，在低于熔点的所有温度下是体心立方晶体结构，角状的碳氮化钛随机地存在于铁素体基体中。

### 规范 (Specifications)

439 不锈钢（称作 XM-8 或 UNS S 43035）列入许多规程和规范之中，它们为：

Pipe and Tubing	Flat Rolled Products	Bar Products
ASTM-A268 ASME-SA268 ASTM-A803	ASTM-A240 ASME-SA240	ASTM-A479 ASME-SA479
ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section VIII Division I Unfired Pressure Vessels		

439 钢种焊管的允许应力 见 ASME，第 8 节、第一部分。表 UHA 23 中规定其与

430 焊管相同。在棒材和无缝产品中，这两种合金的允许应力也相同。

### 可用性 (Availability)

439HP™ 钢种可以是宽度达 48” 厚度达 0.125” 退火状态的板材和卷带。439HP™ 钢种可用于制作管材。

### 合金的发展 (Alloy development)

439 钢种开发于 20 世纪 50 年代，用于需要良好的可焊性和耐应力腐蚀裂纹的火焰直接加热水器，一些早期的 439 钢种热水容器已有使用 25 年的证明资料。

AOD（气氧脱碳）工艺的出现，通过提供尽量减少损失的有效的除 C 和 S 方法，有助于许多不锈钢合金，如 439 钢种的改良，这有利于提高材料的性能。现在 439 钢种广泛应用作发电、石油精炼和化学加工工业的热交换器管道；住宅用炉市场；一些小型的热水容器和汽车排气歧管及马弗管。

该合金的主要优点如下：

极好的抗氯化物应力腐蚀裂纹

良好的耐一般腐蚀性，尤其在淡水和轻度氧化的环境中

长期的成本优势

高导热系数

低热膨胀系数

良好的抗连续和周期氧化性

**化学成分 - 重量百分比 ( Chemical analysis-weight percent )**

Element	ASTM A240 ASTM A268 ASTM A479	Typical
	UNS S43035	
		AL 439 HP™
Carbon	0.07 max	0.012
Manganese	1.00 max	0.45
Phosphorus	0.04 max	0.020
Sulfur	0.03 max	<0.0010
Silicon	1.00 max	0.55
Chromium	17.00-19.00	17.50
Nickel	0.5 max	0.23
Titanium	.20+4 (C+N) min 1.10 max	0.40
Nitrogen	0.04 max	0.013
Iron	Balance	Balance

**线热膨胀系数 ( Coefficient of linear thermal expansion )**

Coefficient of Linear Thermal Expansion			
Temperature Range		Coefficients	
°C	°F	cm/cm·°C	in/in·°F
20-100	68-212	10.2x10 <sup>-6</sup>	5.6x10 <sup>-6</sup>
20-500	68-932	11.6x10 <sup>-6</sup>	6.4x10 <sup>-6</sup>
20-800	68-1472	12.5x10 <sup>-6</sup>	6.9x10 <sup>-6</sup>
20-1000	68-1832	13.6x10 <sup>-6</sup>	7.5x10 <sup>-6</sup>

**典型的物理性能 ( Typical physical properties )**

线热膨胀系数略低于等效的碳钢，并明显低于 304 钢种和 90 - 10 Cu-Ni 合金 ( CA 706 )。线热膨胀系数紧密相配的碳钢和 439 钢种应用在一些热交换器中，特别是在用不锈钢取代碳钢更新换代的时候。

**导热性 ( Thermal conductivity )**

Alloy	Temperature		W/m·K	Btu·in/ hr·ft <sup>2</sup> ·°F
	°C	°F		
AL 439 HP™	20-100	68-212	24.2	168.0
Type 304	20-100	68-212	16.3	112.8
Copper Nickel Alloy 90-10 (CA 706)	20-100	68-212	44.6	312.0
Carbon Steel (AISI 1020)	20-100	68-212	51.9	360.0

**比热 ( Specific heat )**

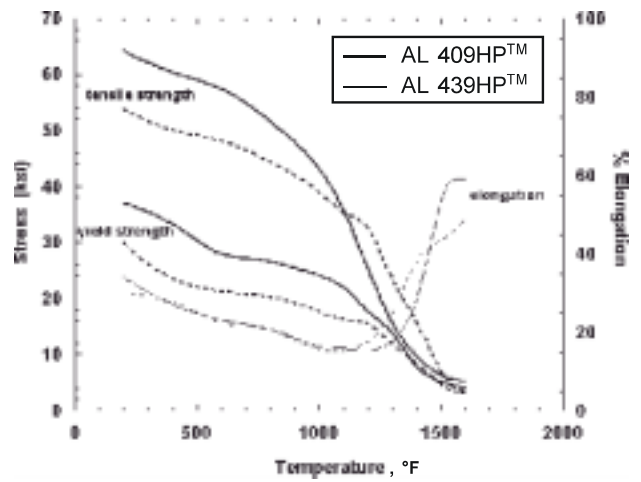
Alloy	°C	°F	J/kg·°K	Btu/lb·°F
AL 439HP™	0-100	32-212	460	0.11
Type 304	0-100	32-212	500	0.12

**其他物理性能 ( Other physical properties )**

	AL 439HP™	Type 304	Copper-Nickel Alloy 90-10	Carbon Steel
Density lb/in <sup>3</sup> gm/cm <sup>3</sup>	0.278 7.695	0.288 7.970	0.323 8.940	0.283 7.830
Electrical Resistivity microhm-cm at 20°C	63	72	19.1	12.5
Modulus of Elasticity* psi x 10 <sup>-6</sup> GPa	29 200	28 190	18 125	30 205

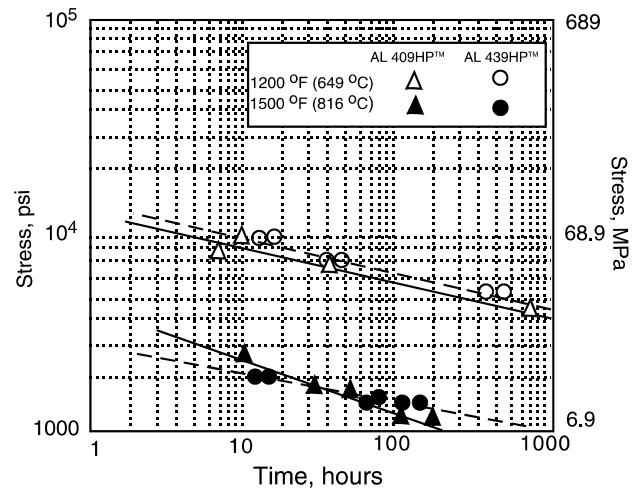
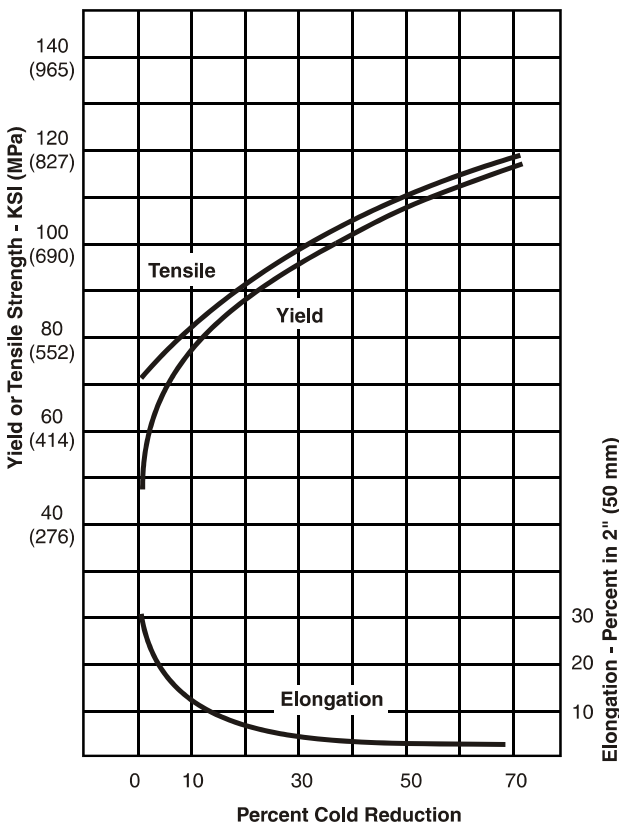
**退火后典型的机械性能 ( Typical Annealed mechanical properties )**

	AL 439HP™	Type 304	Copper-Nickel Alloy 90-10	Carbon Steel
Yield Strength psi MPa	42,000 290	40,000 275	16,000 110	43,000 295
Tensile Strength psi MPa	66,000 455	90,000 620	44,000 300	57,000 395
Elongation % in 2"	34	65	40	36
Hardness Rb	78	88	15	63



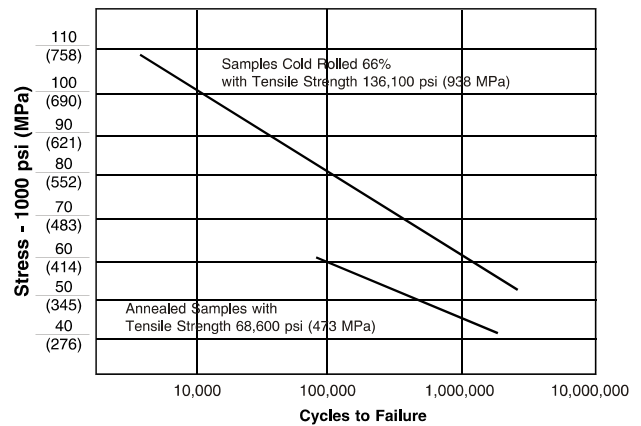
应力断裂特性 ( Stress rupture properties )  
Stress Rupture Properties

冷成形对 AL 439 HP™ 抗拉性能的影响  
(Effect of cold forming on AL 439 HP™ tensile properties)



AL 439 HP™ 带钢疲劳试验 ( Fatigue test on AL 439 HP™ strip )

Fatigue Tests on AL 439HP™ Strip



高温性能 ( Elevated temperatures properties )

短时抗拉性能 ( Short time tensile properties )

疲劳 ( Fatigue )

带钢试样的初始厚度为 1 mm , 状态为退火以

后和 66 % 的冷轧压下率两种。经过退火材料的疲劳极限为 40,000 psi ( 275 MPa ), 或者是稍大于 54 % 的抗拉强度。冷轧材料的疲劳极限约为 51,000 psi ( 350 MPa ), 或者约是抗拉强度的 37 %。

### 冲击阻力 (Impact resistance)

和其他铁素体不锈钢一样, 439 钢种在试验温度下降时冲击性能会经受从延性到脆性的转变。发生这种转变的特定温度取决于截面厚度和经受过热过程。材料薄并经退火或者焊接后冷却快则转变温度相对较低。

轧制产品的典型的转变温度比普通加工的要低并用温度表明希望该材料呈现延性。0.100” 厚退火带钢的典型转变温度为 0°F ( -18°C ), 0.049” 带钢则接近 100°F ( -73°C )。

### 耐蚀性 (Corrosion resistance)

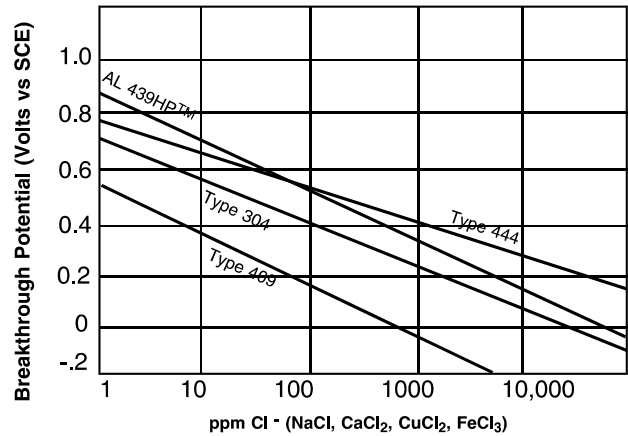
439 钢种可抵抗实质上为氧化的饮用水和许多低度或中度腐蚀的化学环境的侵蚀。研究表明在许多氯化物溶液中, 439 钢种耐点蚀性能优于 304 钢种。此外, 439 钢种不易发生应力腐蚀裂纹, 而在象热交换器中的热水那样的含氯化物环境里, 这种裂纹会导致奥氏体不锈钢过早破坏。

### 氯化物点蚀 (Chloride pitting corrosion)

采取了大量的步骤以确定 439 钢种相对于其他不锈钢的耐点蚀性能。试样置于许多种类和浓度的氯化物溶液中并确定临界电位。使用了 Na、Ca、Cu 和 Fe 的氯化溶液, 浓度从 10 到 10,000 ppm, 其结果显示于下图。它说明 439 钢种和其他许多不锈钢在各种各样的氯化物环境中的耐点蚀性能。

### 室温下氯化物浓度对不锈钢临界电位的影响

(Effect of chloride concentration on the breakthrough potentials of stainless steel at room temperature)



### 应力腐蚀裂纹 (Stress corrosion cracking)

439 钢种最重要的耐蚀性之一是其抗氯化物应力腐蚀裂纹能力远比一般的奥氏体不锈钢强。它的这种耐蚀性是由其铁素体结构和低含镍量产生的。显示的结果为退火后 U-弯曲自体焊接的 439 钢种。沸腾溶液中氯化物应力腐蚀典型的试验结果

(Typical chloride stress corrosion test results in boiling solution)

Typical Chloride Stress Corrosion Test Results in Boiling Solutions			
	42% MgCl	33% LiCl	26% NaCl
304L	F (20 hrs.)	F (96 hrs.)	F (744 hrs.)
316L	F (21 hrs.)	F (21 hrs.)	R (1000 hrs.)
439	R (1000 hrs.)	R (1000 hrs.)	R (1000 hrs.)

### 耐晶间腐蚀 (Intergranular corrosion resistance)

加钛稳定的 439 钢种的抗晶间腐蚀侵蚀性能在 ASTM 工艺规程 A-763 中规定。在此规程中, 操作 Z 适用于 439 钢种在测定标准试验后没有晶间裂变的情况, 操作 W 也适用于草酸浸蚀。

一般腐蚀的典型数据 (Typical general corrosion data)

## Typical General Corrosion Data

Boiling Solution	Corrosion Rate in Inches Per Month and (Millimeters per year)					
	Type 409		AL 439HP™		Type 304	
20% Acetic Acid	0.0101	(3.08)	0.0003	(0.09)	0.00001	(0.003)
65% Nitric Acid	0.0274	(8.35)	0.0020	(0.61)	0.0007	(0.22)
20% Phosphoric Acid	0.0017	(0.52)	0.00002	(0.006)	0.00002	(0.006)
10% Sodium Bisulfate	0.2058	(62.7)	0.00001	(0.003)	0.005	(1.53)
10% Sulfamic Acid	0.2712	(82.7)	0.00008	(0.025)	0.013	(4.0)
10% Oxalic Acid	0.1510	(46.0)	0.18	(55.0)	0.004	(1.22)

ASTM 标准关于铁素体不锈钢耐晶间腐蚀试验工艺  
规程及典型结果

Procedure	Type 430	AL 439HP™
A-763 (1) Practice W	High Carbon Grade may show "ditch- ing" which <b>Fails</b>	Step Structure <b>Pass</b>
A-763 (2) Practice Z	1 period-24 hrs. Fissures <b>Fail</b>	1 period-24 hrs. No Fissures <b>Pass</b>

(1) Oxalic acid etch  
(2) Cu/CuSO<sub>4</sub>/16%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

### 汽车排气系统环境 (Automotive exhaust system environments)

采用两种模拟汽车排放系统情况的腐蚀试验  
来比较 439 钢种和其他铁素体合金的性能。

#### A. 排放系统冷凝液腐蚀试验

该试验设计成模拟在汽车排放系统内部形成的  
的冷凝液的作用。试样放于细长形 1 升烧杯里，装  
有 100 ml 模拟的排放系统冷凝液，由水和以下成  
分组成：

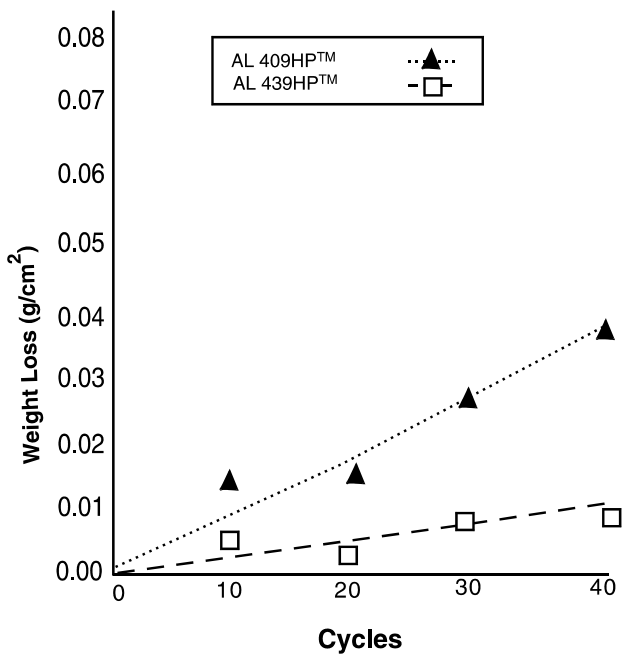
- 1000 ppm 氯化物离子
- 2000 ppm 碳酸盐离子
- 3740 ppm 铵离子
- 5000 ppm 硫酸盐离子
- 100 ppm 硝酸盐离子
- pH 8.7 – 8.9

合金试验浸入装有溶液的烧杯内，然后经受可  
控的温度周期，包括：

- (a) 在一小时内从室温加热到 482°F  
(250°C)。
- (b) 在 482°F (250°C) 保温 2 小时。
- (c) 在 3 小时内冷却到室温。

由于最初试验溶液在 6 小时试验循环后只剩余  
一种固体残渣，在烧杯里再加入 100ml 试验溶液并  
重复试验。经过 10、20、30、40 等次循环的试样  
清洗成金属原样并称重。下图为 439 合金重量损失  
数据(腐蚀)与 AL 409 HP™ 不锈钢类似数据的比  
较。

循环排放系统冷凝液腐蚀 (Cyclic exhaust  
system condensate corrosion)



439 钢种 (UNS S43035) 由于 Cr 含量较高, 显示出其耐蚀性比 409 合金大大提高 (重量损失较少)。已公布的信息强调氯化物可能出现在新汽车或新催化转换器的启动中, 这是由催化转换器的生产携带而来的, 使得初期冷凝液的侵蚀会比汽车正常运行所要求的严重。

虽然注入烧杯时试验溶液略显碱性 (pH 约为 8.8), 但随着试验周期数的增加, 它会越来越呈酸性, 在 10 个或 10 个以上循环周期后最终达到 pH 3。可以认为这些酸性情况与产生冷凝液而引起腐蚀的排放系统内部的情况相似。

使用中的汽车排放系统的外表面是热的, 并暴露于空气中。排放系统合金的抗氧化性也很重要, 而路面上的去冰盐也会接触到排放系统合金。对于排放系统合金而言, 抗点蚀和/或缝隙腐蚀也是其一个重要的特性。

对 439 合金和其他不锈钢材料进行设计好的周期氧化/腐蚀试验, 以提供对比数据。试验包括将试样在空气中加热到 1200°F (649°C), 一小时后在空气中自然冷却至室温。然后按 ASTM B117 将氧化了的试样在 95°F (35°C) 下接受 24 小时 5 % 含量的盐雾试验, 这就完成了一个周期。在五个周期后确定重量的损失 (腐蚀)。将经过 100 个周期的 439HP™ 合金的数据与铁素体 409HP™ 和 444 牌号不锈钢, 304 牌号的奥氏体不锈钢以及 625 镍基合金的同类数据相比较, 见下表。

与含 11 %Cr 的 409HP™ 合金相比, 含 18 % Cr 的 439HP™ 合金和 304 牌号不锈钢的重量损失要少, 但仍很显著。444 牌号合金除含 18 % 的 Cr 外, 又添加了 2 % 的 Mo, 在接受试验的不锈钢中, 其重量损失 (腐蚀) 最低。625 镍基合金具有极好的抗氯化物氧化和腐蚀性能 (重量略有增加)。

### 周期氧化 / 腐蚀 试验 结果 (Cyclic Oxidation/Corrosion Test Results)

Alloy	Typical Composition, Weight Percent			Weight Change (%) Following 100 Test Cycles
	Cr	Mo	Ni	
AL 409HP™ (UNS S40930)	11	—	—	-57.4
AL 439HP™ (UNS S43035)	18	—	—	-28.9
Type 444 (UNS S44400)	18	2	—	-8.1
Type 304 (UNS S30400)	18	—	8	-47.5
Alloy 625 (UNS N06625)	21	9	62	+0.1

oxidation/corrosion test results )

### B. 排放系统循环氧化/腐蚀试验

抗氧化性 (Oxidation resistance )

对于许多汽车排气系统零部件来说，439 牌号具有极好的抗氧化性能。由于氧化速率受诸如大气、热循环和结构设计等工作条件的影响相当大，实验室试验的结果应仅用于指导使用温度极限的估算。下图是 439 牌号与其他排放系统不锈钢预计的最高使用温度的比较。

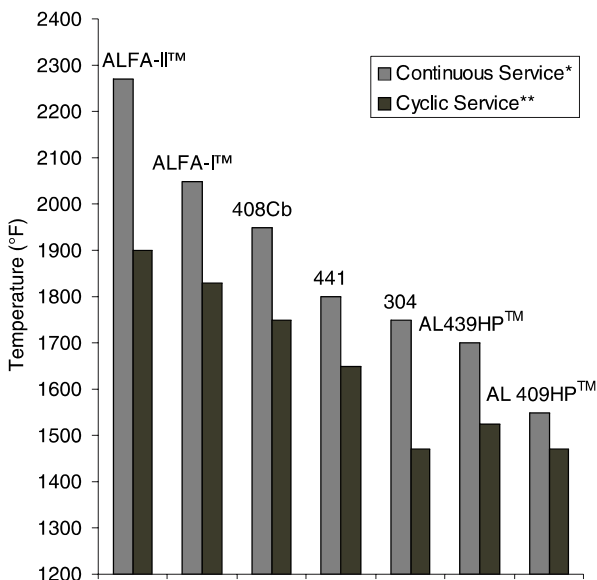
周期氧化试验中，设计的温度极限是在连续氧化 100 小时内重量增加  $0.00155 \text{ g/cm}^2$  和最少 2000 个周期两者中任意选择。

连续氧化试验是在静止的空气中进行的，并用完整的增重测量步骤来确定重量的增加。

周期氧化试验步骤包括反复电阻加热  $0.002'' \times 0.250''$  带钢试验到一定温度，两分钟后冷却到室温，置于静止空气中 2 分钟，至  $0.002''$  厚的带钢全部氧化并断裂时终止。

439 牌号的温度极限在  $1525^\circ\text{F}$  ( $829^\circ\text{C}$ ) 到  $1700^\circ\text{F}$  ( $829^\circ\text{C}$ ) 范围内，取决于热循环的强度。

(图) 在静止氧化气氛中最高的设计使用温度



\*Continuous Service -  $0.01 \text{ g/m}^2$ , weight gain in 100 hours

\*\*Cyclic Service-2000 cycles, 2 minutes at temperature and 2 minutes cooling.

## 机械加工 (Machining)

下表是各种机加工操作和工具合金大约的起始速度。

Surface Feet Per Minute				
Operation	High Speed Steel	Cast Alloy	Carbide	Feed (in. per rev.)
Turning	92	110	160	.010-.018 rough
Drilling	30-60	-	-	.001-.005 finish cut
Reaming	20-60	-	-	.003-.008 (Hole Diameter .065")
Tapping	10-25	-	-	-

## 焊接 (Welding)

可以用焊接不锈钢通常的方法焊接 439 牌号，包括点焊、TIG、MIG、激光和高频管焊接。普通的气体保护与钨极或金属极电弧工艺一起使用。如果在熔焊中添加充填钢丝，最好考虑采用稳定的不锈钢或镍基合金以便使焊接金属保持耐蚀性。在象汽车排放系统那样的高温条件下，最好使用 439 和 441 牌号，以保持热膨胀的相容性。

适当地焊接 439 牌号，能使其在焊接融化和热影响区保持母体金属的耐蚀性和几乎全部的机械性能。此外，由于含 Ti，在母体金属使用良好的环境中，其热影响区可抗晶间腐蚀的侵蚀。

即使有足够的保护气体，焊接这种金属时可能会产生氧化膜色或氧化，应将其去除以确保最大的耐蚀性。

## 缝焊 (Seam welding)

在对 439 牌号的管子进行缝焊时，最常用的是奥氏体填料。典型的焊合是用稳定的奥氏体充填钢丝将 439 牌号管子缝焊至  $600^\circ\text{F}$  管板上。采用稳定性好的充填材料，能最好地保持焊缝的耐晶间腐蚀性性能。

## 可成形性 (Formability)

439 牌号与 T409 和碳钢都是铁素体结构,能用同样的措词描述它们的机械特性。汽车行业中使用最广泛的参数是应变硬化指数、n、平均应变比、r-bar 和成形极限图及 FLD。

在板材成形时, 439HP™ 的不锈特性与 409HP™ 相似,但强度更高。典型的 n 值在 0.21 和 0.26 之间,类似于 409HP™,而典型的 r-bar 值为 1.4 到 1.8,略高于 409HP™。两种合金的成形极限图非常相似。与碳钢相比,这两种铁素体不锈钢的 FLD 对材料厚度的敏感度较小。

## 辊式胀口和扩口 (Roller expansion and flaring)

适用于其他管材的设备和工序,也可以将 439 牌号辊式胀成管板和头部。许多种类的管板材料能形成坚固的、密封的、防漏的接合,而管板无扭曲。管子在轧制后能进行扩口,以减少输入紊流,尽管该材料良好的耐冲蚀性可以取消扩口的必要。扩口的外径必须在材料延伸极限内,防止过度扩张产生裂纹。同熟悉的奥氏体合金相比,由于铁素体不锈钢的加工硬化程度低,拉伸成形较小,因此建议扩口要适度。

## 弯管 (Tube bending)

439 牌号的管子能弯曲到两倍于管径的最小弯曲半径 (2D)。不需要对弯管进行应力释放来保持抗氯化物应力腐蚀裂纹的性能。

汽车排气歧管流槽的弯曲半径常常小于 2D,对弯管操作的要求很高,通常选用 439 HP™ 合金。

## 热处理 (Heat treatment)

439 牌号应在 1450 - 1600°F (790 - 871°C) 的温度之间进行退火并快速冷却。冷却速率影响冲击

转变,而冷却慢会产生不合乎要求的较高的冲击转变。

铁素体不锈钢含有 12 % 以上的 Cr,对称作 885°F (475°C) 脆变的现象有敏感性。相当长时间地置于范围为 700 - 1000°F (371 - 537°C) 的温度下,可以在室温中观察到脆变,意味着冲击性能的降低。

如果使用温度在该范围外循环,置于 1050°F (565°C) 以上的温度下会恢复室温下的韧性。在接近 885°F (475°C) 的温度下经过了长时间的保压,则使用温度在 1050°F (565°C) 以上循环是有益而不是有害的。

## 应用 (Applications)

439 牌号不锈钢性能独特的混合,使其成为许多应用场合的首选。在热水容器方面已有 25 年的使用证明,那里需要有良好的抗综合腐蚀的性能,能抗应力腐蚀裂纹并优良的焊接性能。该合金的抗氧化性允许它能用来制作住宅用炉和汽车排放系统零部件。439 牌号因其耐蚀性、可加工性和颜色反射的相容性而被制成小直径管子代替汽车车轮实心的辐条钢丝。该合金由于热膨胀系数低,已代替碳钢用作热交换管而不用膨胀接头。439 牌号的热传导性高,因此在大量的供水加热装置中的应用已超过了 304 牌号。