

铁基烧结材料的离子氮碳共渗处理

苏学宽^{1)*} 印红羽²⁾ 王从曾¹⁾

1)(北京工业大学 北京 100022)

2)(北京市粉末冶金研究所 北京 100078)

摘要：对不同化学成分的铁基烧结零件材料进行离子氮碳共渗处理，观察工艺参数和合金元素对共渗层相组成、渗层深度、硬度的影响。试验结果表明：共渗温度、时间、气氛等工艺参数以及在 Fe-C 烧结材料中添加 Mo、Cu 等合金元素，明显影响渗层深度和表面硬度。对铁基烧结零件材料进行离子氮碳共渗处理，当保温时间为 2~3h，C₃H₆O（丙酮）输入量为保护气氛总体积的 7%（体积分数，下同）时，材料密度为 6.7g/cm³ 的 Fe-C 材料，在 560~620℃，可获得 530~770HV0.1 的表面硬度，渗层深度为 0.15~0.65mm，其中化合物层厚度为 12~23μm；Fe-C-Cu 材料，在 560~580℃，可获得 640~650HV0.1 的表面硬度，渗层深度为 0.23~0.38mm，其中化合物层厚度为 8~12μm；Fe-C-Cu-Mo 材料，在 560~580℃，可获得 760~880HV0.1 的表面硬度，渗层深度为 0.17~0.25mm，其中化合物层厚度为 8~17μm。

关键词：烧结钢表面硬化；离子氮碳共渗；共渗层深度；表面硬度

The Influence of the Material Composition and the Main Process Parameters on the Properties of Ion-Nitrocarburizing Layer of Sintered Steels

Su Xukuan¹⁾, Yin Hongyu²⁾, Wang Congzeng¹⁾

1)(Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

2)(Beijing Research Institute of P/M, Beijing 100078)

Abstract : Sintered steel samples were ion-nitrocarburized at 540~640℃ for 1~5h in a 10kW laboratory furnace. The furnace atmosphere was a mixture of 90% N₂ and 10% H₂, with an addition of C₃H₆O vapour 1%~9%. The influence of the material composition and the main process parameters on the phase composition of surface layer, surface hardness, depth of compound layer and depth diffusion layer were studied using an X-ray diffractometer and a microhardness tester.

It was observed that after ion-nitrocarburizing for 2~3h an addition of 7% C₃H₆O vapour, the surface microhardness was about 530~680 HV 0.1, the depth of nitrocarburized surface layer were about 0.15~0.65mm and the depth of compound layer were 12~23μm in the Fe-C sintered steel at nitrocarburizing temperature of 560~620℃; the surface microhardness was about 640~650HV 0.1, the depth of nitrocarburized surface layer was about 0.23~0.38mm and the depth of compound layer was 8~12μm in the Fe-C-Cu sintered steel at nitrocarburizing temperature of 560~580℃; the surface microhardness was about 760~880HV 0.1, the depth of nitrocarburized surface layer was about 0.17~0.25mm and the depth of compound layer was 8~17μm in the Fe-C-Cu-Mo sintered steel at nitrocarburizing temperature of 560~580℃.

Key words : surface-hardening of sintered steel; ion-nitrocarburizing; nitrocarburized surface layer depth; surface microhardness

* 苏学宽，49 岁，高级工程师，目前从事金属材料及粉末冶金材料表面工程学科研究

1 前言

对于使用时接触应力不很高,但需要抗咬合、耐磨耗的复杂形状结构零件,一般要求其既有高精度(如 IT6~IT8 级)又有高硬度(如表面硬度 $\geq 45\text{HRC}$),在选择材料时,铁基烧结零件材料因其制作工艺特点,是设计者的首选。然而长期困扰设计者的因素之一,是常规热处理引起的零件变形问题。

本文探讨适用于铁基烧结结构零件强化的离子氮碳共渗工艺,具有提高零件表面硬度后仍保持精整时的精度等级的特点,欧洲一些工业发达国家从 80 年代起试验并已将其应用于产业化生产中^[1,2]。

由于铁基烧结钢结构零件的成分特点不同于钢材,又具有一些孔隙,并且存在一定程度上的合金元素微观扩散不均匀与组织不均匀,因此不能完全照搬钢铁材料零件的离子氮碳共渗的工艺参数及预处理方法,而且工艺参数对被处理零件的组织性能的影响规律亦不同^[3,4]。本文针对国内实际生产情况,对一般粉末冶金厂家都能生产的最常用的几种铁基烧结零件材料进行了离子氮碳共渗的试验,研究了铁基烧结零件材料的化学成分、离子氮碳共渗工艺参数对共渗层深度及表面硬度的影响。

2 试验材料与试验方法

试样材料成分选择常用铁基烧结零件材料 Fe-C、Fe-C-Cu、Fe-C-Cu-Mo 系列,粉末原料见表 1,试样的化学成分见表 2。采用双向压制的方法制备 10mm \times 10mm \times 10mm 压坯,经 1120 $^{\circ}\text{C}$ 烧结,保温 1h,烧结保护气氛为氮基气氛。调节压坯密度以使烧结后材料的密度均为 6.7g/cm³。

离子氮碳共渗试验在 10kW 离子渗氮炉中进行。氮碳共渗气氛为在 90:10 的氮氢混合气氛中,输入 C₃H₆O(丙酮)以产生含碳气氛,其加入量在 1%~9% 范围内调节。处理温度为 540~640 $^{\circ}\text{C}$,保温时间分别为 1、2、3、5h,处理后随炉冷却。

用 D/max-3B 型 x 射线衍射仪分析表层相组成,通过金相显微镜观察渗层组织并测量渗层深度,

表 1 试验用粉末原料表

粉末种类	粒度/ μm (目)
还原铁粉	<180(80)
鳞片状石墨粉	<75(200)
电解铜粉	<75(200)
钼粉	<45(320)
万方数据	

表 2 试验用三种材料的化学成分(质量分数) %

材料编号	合金元素			
	C	Cu	Mo	Fe
1	0.6	—	—	余
2	0.6	1.0	—	余
3	0.6	1.0	0.5	余

注:表中的碳量为化合碳。

用显微硬度计测量表面硬度,负荷为 100g。

为了保证试验数据的准确性,采用了以日本产双波比色温度仪为主构成的精确测控温的方式^[5],供气系统配用质量流量计以消除可能造成试验误差的因素。

由于压制工艺特性造成试样正压制面(与模冲端面接触的压坯面)和侧压制面(与阴模型腔接触的压坯面)外表层的密度不同,以致试样表面的氮碳共渗层组织结构有所差别^[6],本文仅对试样的侧压制面进行考察。

3 试验结果与讨论

3.1 三种材料的渗层相组成

对铁基烧结零件材料进行离子氮碳共渗处理后,其表面获得的共渗层由化合物层及扩散层组成。化合物层由 ϵ 相(Fe₂₋₃(N,C))和 γ' 相(Fe₄N)构成。 ϵ 相为氮原子有序占有 Fe 的密排六角点阵中间隙位置的相结构, γ' 相为氮原子有序占有 Fe 的面心立方点阵中间隙位置的相结构。扩散层由 α 相和含氮的化合物组成。对于含氮化物形成元素的材料,在扩散层中可形成弥散分布的氮化物,对于 Fe-C、Fe-C-Cu 材料,在扩散层中可形成针状的 γ' 相析出。通过改变材料的化学成分和工艺参数,可得到不同的相含量。材料的相结构不同,亦表现出不同的韧性和硬度。研究渗层的相组成和层深,有助于控制材料的表面组织结构,以便获得需要的表面性能。

经过 580 $^{\circ}\text{C}$ 、保温 2h 的离子氮碳共渗处理后,Fe-C、Fe-C-Cu、Fe-C-Cu-Mo 几种成分试样的 x 射线衍射相分析结果见图 1。由图可知,在 Fe-C 材料中添加 Cu,有助于增加 γ' 相的含量(见图中曲线 2),这可能与 Cu 具有面心立方结构有关。

Mo 是较强的氮化物、碳化物形成元素,共渗时会造成试样表面较高的氮、碳浓度,因此 Mo 的添加有利于提高 ϵ 相的比例(见图中曲线 3)。

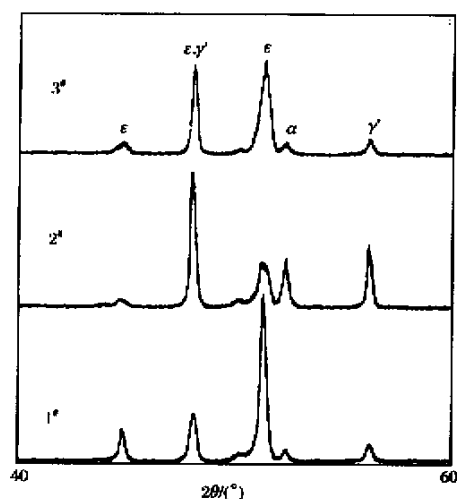


图1 在 Fe-C 材料中添加 Cu、Mo 元素
对渗层相组成的影响

3.2 工艺参数对材料渗层深度的影响

3.2.1 共渗气氛对渗层深度的影响

在 580℃ 对试样进行共渗处理时,将气氛中的 $N_2:H_2$ 固定为 9:1,把 C_3H_6O 蒸气的输入量分别调至占总气氛体积分数的 1%~9%,保温 2h,考察化合物层的深度,其结果见图 2。由图 2 可见,1#、2#、3# 三种成分试样的化合物层均随碳气氛的增加而增厚,当 C_3H_6O 蒸气占气氛总量的 7% 时,均表现出极值性质,大于 7% 后,化合物层厚度变薄。这是由于含碳气氛比例增加使碳原子渗入量增加,而碳的渗入可促进化合物层增厚。当气氛中的碳含量达到较高浓度时,共渗过程初始就渗入较多的碳原子并占据了大量的间隙位置,会阻碍氮的进一步渗入,

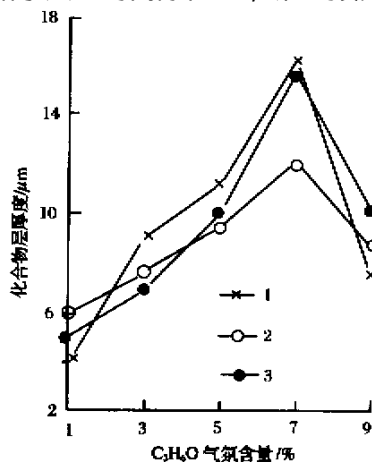


图2 含碳气氛加入量对化合物层厚度的影响

故延缓了使化合物层在同一保温时间内的增厚速度。

3.2.2 温度对渗层深度的影响

在进行离子碳氮共渗时,固定共渗时间、气氛组成等工艺参数,观察了 Fe-C、Fe-C-Cu、Fe-C-Cu-Mo 三种成分的试样渗层中的化合物层随温度变化的规律,结果见图 3。由图 3 可以看出化合物层随温度升高而增厚,这与 N、C 原子的渗入速度随温度提高而加快有关,在 600~620℃ 时达到最大值。620℃ 共渗处理后,Fe-C 试样的化合物层深度为 23μm、Fe-C-Cu 的为 16μm。600℃ 共渗处理后,Fe-C-Cu-Mo 试样的化合物层深度为 20.5μm。共渗温度超过 600~620℃,化合物层变薄,这可能是过高的温度加速了 N、C 原子向材料基体内部扩散,使之不易在试样表层富集,反而减弱了形成化合物层的 ε 相或 γ' 相的浓度条件。

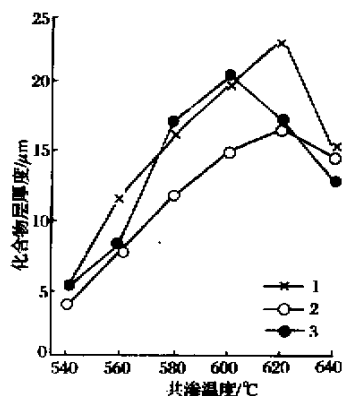


图3 共渗温度对化合物层深度的影响

共渗温度对扩散层厚度的影响与其对化合物层的影响有相同的变化趋势,试验结果见图 4,但峰值出现的位置不同,这与在扩散层中 γ 相的形成有关。根据 Fe-N-C 三元相图可知,在 560℃ 以下不能形成 γ 相,扩散层深度随温度升高而增加。565℃ 以上,γ 相随温度增加变厚。由于可以固溶较多的 N、C 原子,且氮在 γ 相中的扩散系数 D_N^γ 远小于氮在 α 相中的扩散系数 D_N^α ,故该温度范围内 γ 相的出现和增多,减缓了 N 原子向心部扩散,降低了扩散层深度。在 560℃~580℃ 共渗处理后,Fe-C 试样的扩散层深度为 0.45~0.65mm、Fe-C-Cu 的为 0.23~0.38mm、Fe-C-Cu-Mo 的为 0.17~0.25mm。

3.2.3 保温时间对渗层深度的影响

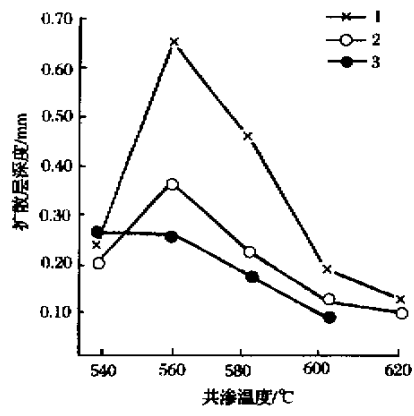


图 4 共渗温度对扩散层深度的影响

对上述三种铁基材料进行离子氮碳共渗处理时,将温度固定在 580℃,丙酮通入量的体积分数固定为 7%,分别保温 1、2、3、5h,其渗层深度检测结果见图 5。由图 5 可知,三种成分的烧结钢的渗层深度均随保温时间延长而增加。有关致密钢的化合物层厚度与共渗时间的研究表明,化合物层厚度随保温时间的延长呈抛物线型规律增加,一般在保温 2~3h 后化合物层不再明显增厚。但本文对烧结钢的试验观察结果却表明,其化合物层厚度与保温时间几乎是线性关系(见图 5)。这主要是粉末冶金零件材料中存在一定量的孔隙,这些孔隙在氮、碳原子由表面向基体内部的扩散过程中起到了通道的作用。因此随共渗处理保温时间的延长,化合物层的

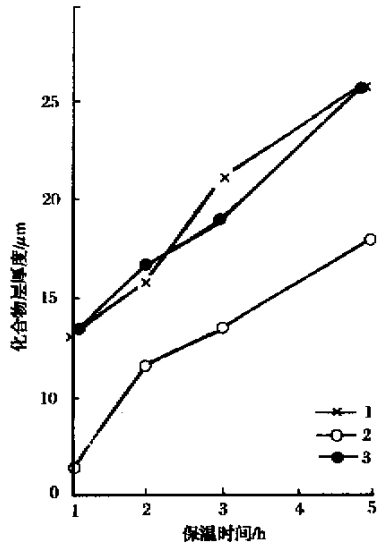


图 5 保温时间对化合物层厚度的影响

厚度增加。保温 5h,Fe-C 和 Fe-C-Cu-Mo 试样的化合物层深度可达 26μm,Fe-C-Cu 试样为 17.5μm。

3.3 工艺参数对表面硬度的影响

3.3.1 碳气氛含量对表面硬度的影响

在 N₂:H₂ = 9:1 的氮氢气氛中,调节的丙酮输入量,于 580℃ 对 Fe-C、Fe-C-Cu-Mo 烧结材料试样进行氮碳共渗处理(保温 2h),材料表面硬度检测数据见图 6。由该图可以看出随碳势的增加(加大 C₃H₆O 的输入量),试样表面硬度提高,在 7% 时达到最大值,Fe-C 试样的表面硬度为 600HV0.1,Fe-C-Cu-Mo 试样的为 760HV0.1。当碳气氛增至 9% 时,硬度降低。这种变化趋势与化合物层厚度在相同处理条件下的变化情况相似。

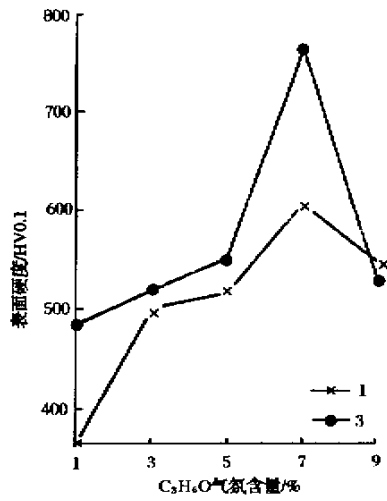


图 6 含碳气氛加入量对表面硬度的影响

形成上述现象主要是由于共渗处理时碳原子渗入表层后,首先形成 Fe₃C 的微小颗粒,虽然其硬度小于 ε 相,但这些质点成为有利于 ε 相非自发形核的地点,因此随碳气氛输入量的增加,ε 相的含量增加,所以硬度亦增加。当碳气氛输入量超过 7% 后,Fe₃C 的含量明显增多,化合物层的构成为 Fe₃C + ε 相,以至造成表面硬度下降。

3.3.2 共渗温度对表面硬度的影响

当保温时间固定为 2h,碳气氛体积分数固定为 7%,在不同温度下对 Fe-C、Fe-C-Cu、Fe-C-Cu-Mo 烧结材料试样进行氮碳共渗处理,材料表面硬度检测数据见图 7,其中 Fe-C-Cu-Mo 烧结材料试样在不同温度下的 x 射线衍射相分析结果见图 8。由图 7 可以看出,三种材料的表面硬度在 580℃ 均出现峰值,

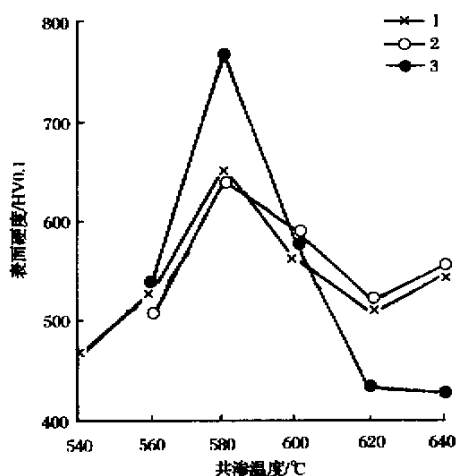


图7 共渗温度对表面硬度的影响

Fe-C 为 650HV0.1, Fe-C-Cu 为 640HV0.1, Fe-C-Cu-Mo 为 770HV0.1。这是由于 580°C 处理的试样可获得以 ϵ 相为主并有少量 γ' 相的化合物层。 ϵ 相硬度大于 γ' 相, 所以 ϵ 相含量高的试样硬度也高。620°C 处理获得的几乎全部是 γ' 相, 该试样的表面硬度明显降低。将温度提高到 640°C, 又出现了少

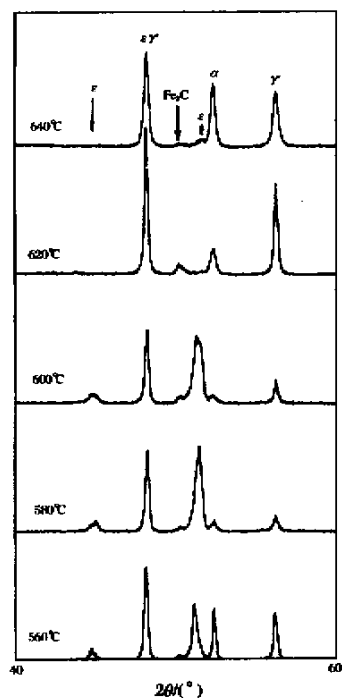


图8 共渗温度对 Fe-C-Co-Mo 材料
万方数据渗层相组织的影响

量的 ϵ 相, 因此在硬度上又略有回升(见图8)。

Fe-C-Cu-Mo 试样含少量的 Mo, 而 Mo 是较强的氮化物形成元素, 在适当条件下, 形成的 MoN 细小质点可起到强化作用, 故该试样在 580°C 共渗后硬度明显高于另外两种材料。将温度增至 600°C 以上, MoN 分解, 失去强化作用, 引起表面硬度下降。

3.3.3 保温时间对表面硬度的影响

考察了在 580°C 进行氮碳共渗, 碳气氛体积分数固定为 7% 时, 保温时间对材料表面硬度的影响, 结果见图 9。由图中可以发现保温 2h, Fe-C-Cu 可获得较高的表面硬度(640HV0.1), 保温 3h 则三种烧结钢均可获得最高的表面硬度, Fe-C 为 770HV0.1, Fe-C-Cu 为 650HV0.1, Fe-C-Cu-Mo 为 880HV0.1, 保温时间继续延长到 5h, Fe-C 和 Fe-C-Cu-Mo 材料的表面硬度又呈降低趋势。仅 Fe-C-Cu 材料在保温 2h 到 5h 范围内, 硬度呈略有上升趋势。

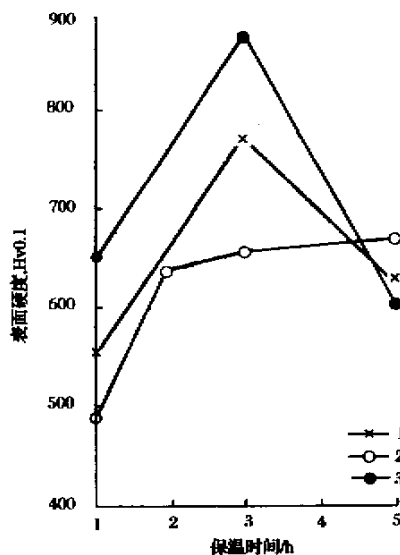


图9 保温时间对表面硬度的影响

4 结论

对铁基烧结材料进行离子氮碳共渗处理, 当保温时间为 2~3h, C_3H_6O (丙酮) 输入量为保护气氛总体积的 7% 时:

(1) 密度为 $6.7g/cm^3$ 的 Fe-C 材料, 在 560°C ~ 620°C, 可获得 530~770HV0.1 的表面硬度, 渗层厚度为 0.15~0.65mm, 其中化合物层厚度为 12~23 μm 。

(2) 密度为 $6.7g/cm^3$ 的 Fe-C-Cu 材料, 在

560℃ ~ 580℃ ,可获得 640 ~ 650HV0.1 的表面硬度 ,渗层深度为 0.23~0.38mm ,其中化合物层厚度为 8~12μm。

(3)密度为 6.7g/cm³ 的 Fe-C-Cu-Mo 材料 ,在 560℃ ~ 580℃ ,可获得 760 ~ 880HV0.1 的表面硬度 ,渗层深度为 0.17~0.25mm ,其中化合物层厚度为 8~17μm。

参考文献

1 Schlipfer G. The Future of Powder Metallurgy. Powder Metallurgy , 1986 ,29(4) 377

2 Bas J A , Molins C. Horizons of Powder Metallurgy Part 1. 1986 , 365

3 Su Xuekuan , Watanabe Y , Yin Hongyu. Influnce of Sintered Materials Density on the Microstructure of Ion-Nitrocarburizing Layer. Proceedings of 1993 Powder Metallurgy World Congress(Japan kyoto) ,Part 1 438

4 Yin Hongyu , Watanabe Y , Su Xuekuan. Distribution of Alloying Elements in the Ion-Nitrided Cr-Mo Sintered Steel. Proceedings of 1993 Powder Metallurgy World Congress (Japan kyoto)Part 1 442

5 苏学宽. 离子氮化炉的精确测控温 ,材料保护. 1989 (4) 34 ,

6 苏学宽 ,印红羽. 烧结材料孔隙形态与分布对离子氮碳共渗层组织结构的影响. 金属热处理 ,1994 (7) 21

中国有色新金属公司

公司在新一年里 ,经资产重组 ,加强了公司的资产管理及销售管理 ,公司将以崭新的面貌出现在粉末冶金行业中。

目前 ,公司采用纯正电解铜板 ,保证了铜粉中铜含量高于 99.8%。新工艺保证了粒度分布峰值高 ;其显微形态为正树枝状 ,枝密粒均 ,压制后更致密 ,韧性及强度更高 ;且氧含量低 ,颜色呈浅玫瑰红色。现正式启用商标“ 银鲨 ”。

公司为提高服务质量 ,特提出多项服务 :

1. 公司为原始制造商 ,可为客户量身定做 ,满足特殊需求 ;

2. 根据客户要求提供真空包装服务。

公司的主要产品有 :电解铜粉、电解镍粉、还原钴粉、还原铁粉、6-6-3 锡青铜粉、锰粉、钼粉、锌粉、铅粉、钨粉、钨粉、铬粉、锡粉、硅粉、银粉、碳化钨粉、铸造碳化钨粉等。

欢迎新老客户前来咨询、洽谈业务。诚聘各地经销商。

公司销售部地址 :北京市昌平区史各庄东 265 号

邮 编 : 102206

电 话 : 010 - 69737554 80716884

传 真 : 010 - 69737554

E - mail : Wang@china Ren. com