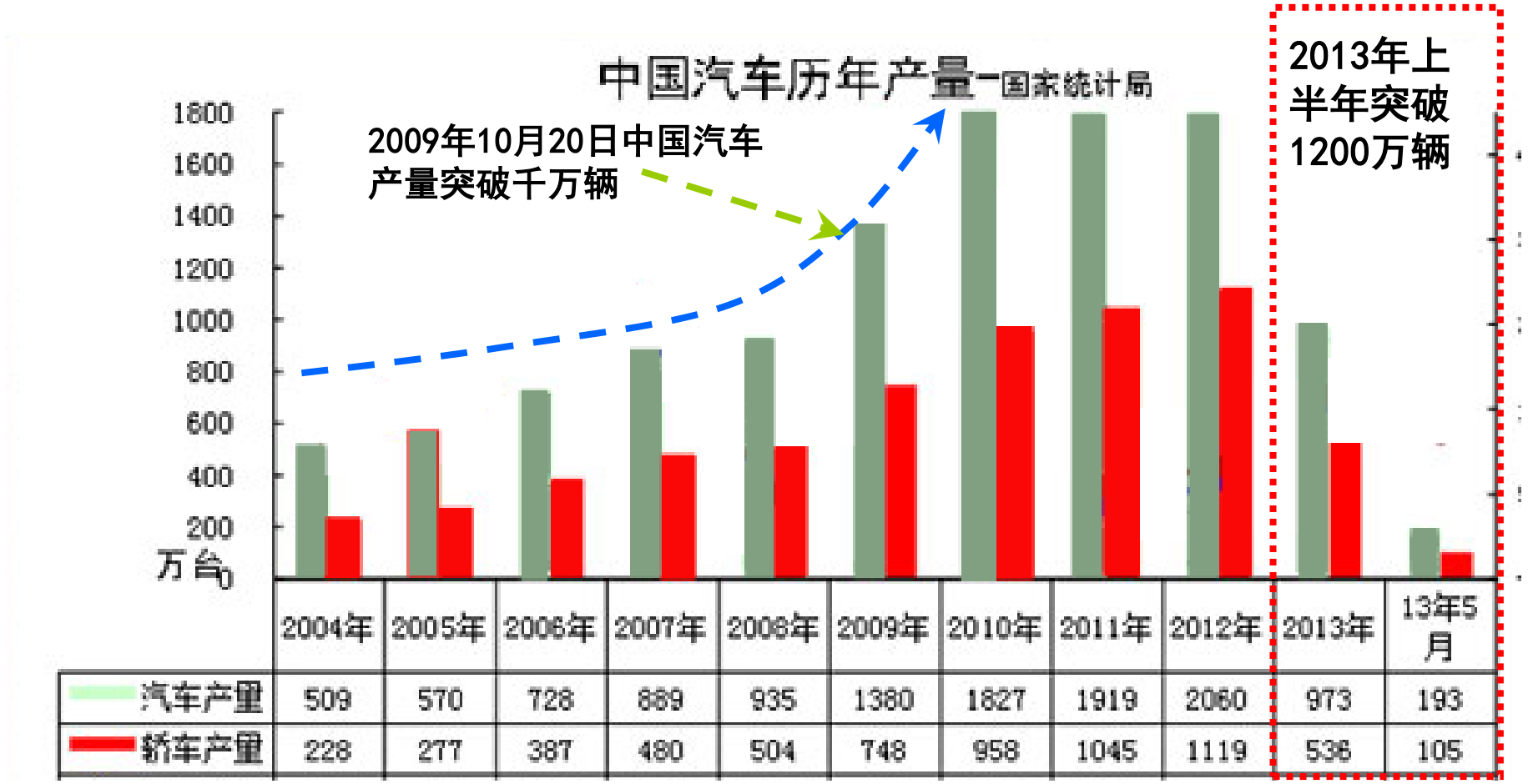
Ultrahigh strength Dual-phase steels with improved elongation for automotive

LUO Haiwen,

School of Metallurgical and Ecological Engineering,
University of Science & Technology Beijing, former in

Central Iron and Steel Research Institute

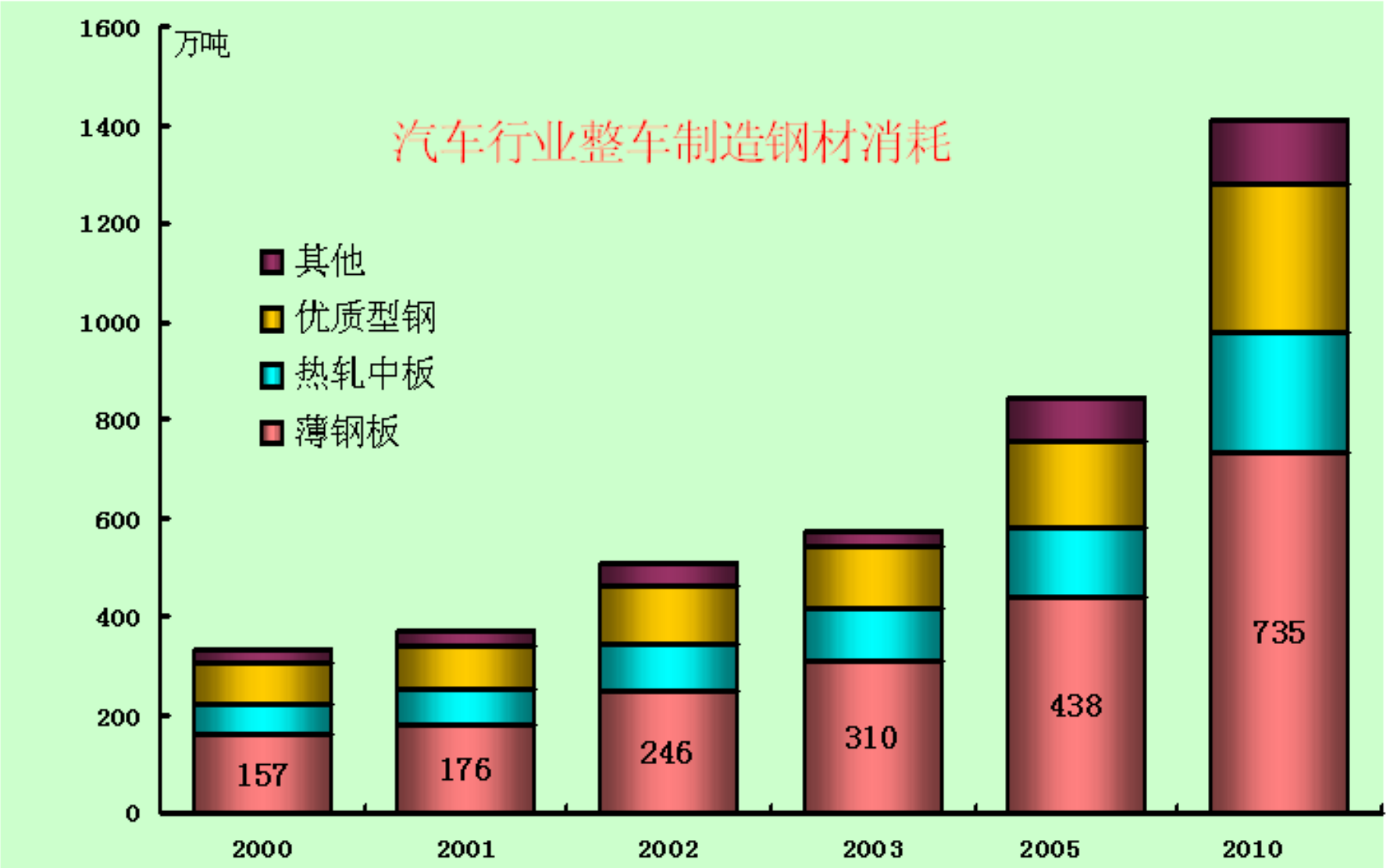
我国汽车产量逐年快速增长



	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	13年5月
汽车产量	509	570	728	889	935	1380	1827	1919	2060	973	193
轿车产量	228	277	387	480	504	748	958	1045	1119	536	105

汽车用钢中薄板占比最高

北京科技大学
University of Science and Technology Beijing



超高强度冷轧双相钢

- 汽车冷轧钢板的机械性能要求
  - ✓低屈服强度；
  - ✓高拉伸强度
  - ✓塑性良好保证成形性
  - ✓优良的焊接性
- 提高强度同时保持优良的成形性是冷轧钢板在汽车中应用的永恒的要求；
- 冷轧双相钢是汽车冷轧板中应用最多的钢种
- 现有的商业化的冷轧双相钢最高级别的钢种为DP980和 DP1180

DP980、DP1180新日铁住金标准

特性值代表例

种类的符号	屈服点 (N/mm^2)	抗拉强度 (N/mm^2)	延伸性 (%)	屈服比 (%)	厚度 (mm)	拉力试验片
NSC440R	290	459	37	63	1.6	JIS-5号 与轧制方向 成直角方向
NSC440E	284	448	39	63	1.6	
NSC340BH	201	347	44	58	0.8	
NSC590D	318	610	31	52	1.6	
NSC780D	437	829	22	53	1.6	
NSC980D(Type A)	630	1,006	17	63	1.6	
NSC980D(Type B)	716	1,015	15	71	1.6	
NSC1180D	900	1,199	11	75	1.6	
NSC590T	391	618	37	63	1.6	

❷ 高强度钢板（新日铁住金标准）

用　途	种类的符号		
一般加工用	NSC390N, 440N, 490N, 540N, 590N		
拉延加工用	NSC340R, 370R, 390R, 440R	拉延加工性出色，适用于各种加工用途。	立柱，加强件，仪表盘等
深拉延加工用	NSC340E, 370E, 390E, 440E	拥有高 r̄ 值，适用于深拉伸加工。	发动机罩外板，门外板，组件，仪表盘等
烧结硬化型拉延加工用	NSC340BH	通过镀烧，具有屈服点上升的特性，适用于需要抗冲击性的用途。	发动机罩外板，门外板，行李箱盖外板等
低屈服比型	NSC490D, 540D, 590D, 780D, 980D, 1180D	强度高、屈服点低、加工性出色，拥有吸收冲击能力钢板	保险杠，门框缓冲架，组件等
超延伸性型	NSC590T, 690T, 780T	具有极高的延伸性，强度和延伸平衡性，冲击能量吸收性优异。	组件，立柱，加强件等

60%

DP980、DP1180的JFE标准

北京科技大学 University of Science and Technology Beijing

分类	牌号	最小屈服强度/MPa 板厚/mm			最小抗拉强度/MPa	最小延伸率/% 板厚/mm						
		0.4~0.8	0.8~1.0	1.0~3.2		0.6~0.8	0.8~1.0	1.0~1.2	1.2~1.6	1.6~2.0	2.0~2.5	2.5~3.2
低屈强比1型	DP440	235	225	215	440	29	30	31	32		33	
	DP590		315	305	590	-	21	23	23	-	24	-
	DP780	-		400	780	-		14	15	-	16	
	DP980	-		530	980	-	-	10	11	-	-	-
	DP1180	-		710	1180		-	-	7		-	-
低屈强比2型	DP590	325	315	305	590	22	23	24	25	-	26	
	DP780	-		360	780	-	-	19	20	-	21	-
	DP980	-	-	**530**	**980**	-	-	**12**	**13**	-	**14**	-
	DP1180	-	-	**710**	**1180**	-	-	**8**	**9**	-	**10**	-
镀锌板	DP590	325	315	305	590	17	18	20	20	-	21	–

ArcelorMittal 公司标准

	YS (MPa)	UTS (MPa)	e_f (%) L_0 = 80 mm th < 3 mm	E_f (%) $L_0 = 5{,}65\sqrt{S_0}$ (mm) th ≥ 3 mm	n	BH_2 (MPa)	Direction
FF 280 DP*	300 - 380	≥ 490	≥ 25		0,15	30	ST
Dual Phase 450	280 - 340	450 - 530	≥ 27		0,16	30	ST
Dual Phase 500	300 - 380	500 - 600	≥ 25		0,15	30	SL
Dual Phase 600	330 - 410	600 - 700	≥ 21		0,14	30	SL
Dual Phase 780 Y450	450 - 550	780 - 900	≥ 15		0,10	30	SL
Dual Phase 780 LCE Y450	450 - 550	780 - 900	≥ 15		0,10	30	SL
Dual Phase 780 Y500	500 - 600	780 - 900	≥ 13		0,10	30	SL
Dual Phase 780 LCE Y500	500 - 600	780 - 900	≥ 13		0,10	30	SL
Dual Phase 980 LCE Y600	600 - 750	980 - 1100	≥ 10			30	ST
Dual Phase 980 LCE Y660	660 - 830	980 - 1100	≥ 10			30	ST
Dual Phase 980 Y700	700 - 850	980 - 1100	≥ 8			30	SL
Dual Phase 980 LCE Y700	700 - 850	980 - 1100	≥ 8			30	SL
Dual Phase 1180	900 - 1100	≥ 1180	≥ 5			30	SL
Dual Phase 600	330 - 460	580 - 670	≥ 22	≥ 24		30	SL
Dual Phase 780*	≥ 450	≥ 750	≥ 15	≥ 18		30	SL

Hot rolled Cold rolled

* The guarantees for this grade are subject to change.
FF 280 DP (Full Finished): grade specially developed for skin parts.
LCE: Low Carbon Equivalent grade, used to optimize properties in service.

POSCO双相钢标准

牌号	钢板厚度/mm	最小屈服强度/MPa	最小抗拉强度/MPa	最小伸长率/%	
				板厚0.6~1.0 mm	板厚1.0~2.3 mm
DP490	0.6~1.6	225	490	24	25
DP540		245	540	21	22
DP590		265	590	18	19
DP780	0.8~1.4	365	780	13	14
DP980		490	980	6	7

DP980、DP1180双相钢性能总结

- DP980级别的冷轧汽车用钢板，其延伸率不超过17%，而屈服强度多在530MPa以上；
- DP1180级别钢而言，其延伸率不超过11%，屈服强度在710MPa以上
- 延伸率有限导致成形性不够，只能用于简单形状的部件成形

DP980、DP1180双相钢研发目标

冷轧连续退火板，在保持强度前提下，显著提高延伸率

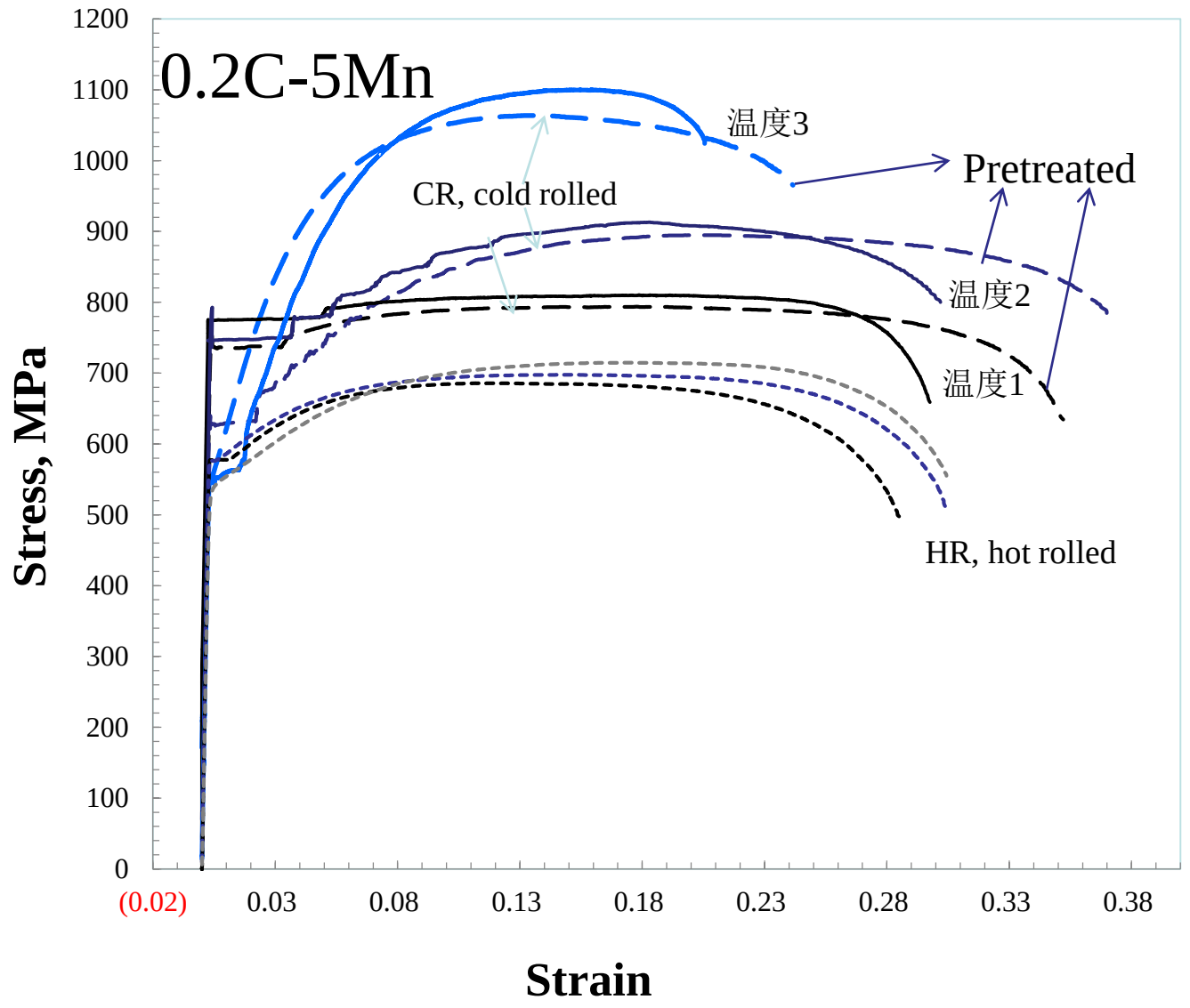
- DP980级别:TS>1GPa, 延伸率>22%, 屈强比<0.75
- DP1180级别: TS>1.2GP，延伸率>17%, 屈强比<0.75

材料和实验方案

- 成分
  - 0.1-0.2C, 5Mn
- 材料状态，三中不同组织状态
  - 热轧板，3mm
  - 冷轧板，1.8mm
  - 冷轧后亚临界退火前进行预先热处理(1.8mm厚)，主要是在马氏体基体上获得溶质原子C、Mn富集区。
- 所有钢板均在两相区不同温度进行亚临界退火10分钟，然后油淬

Results

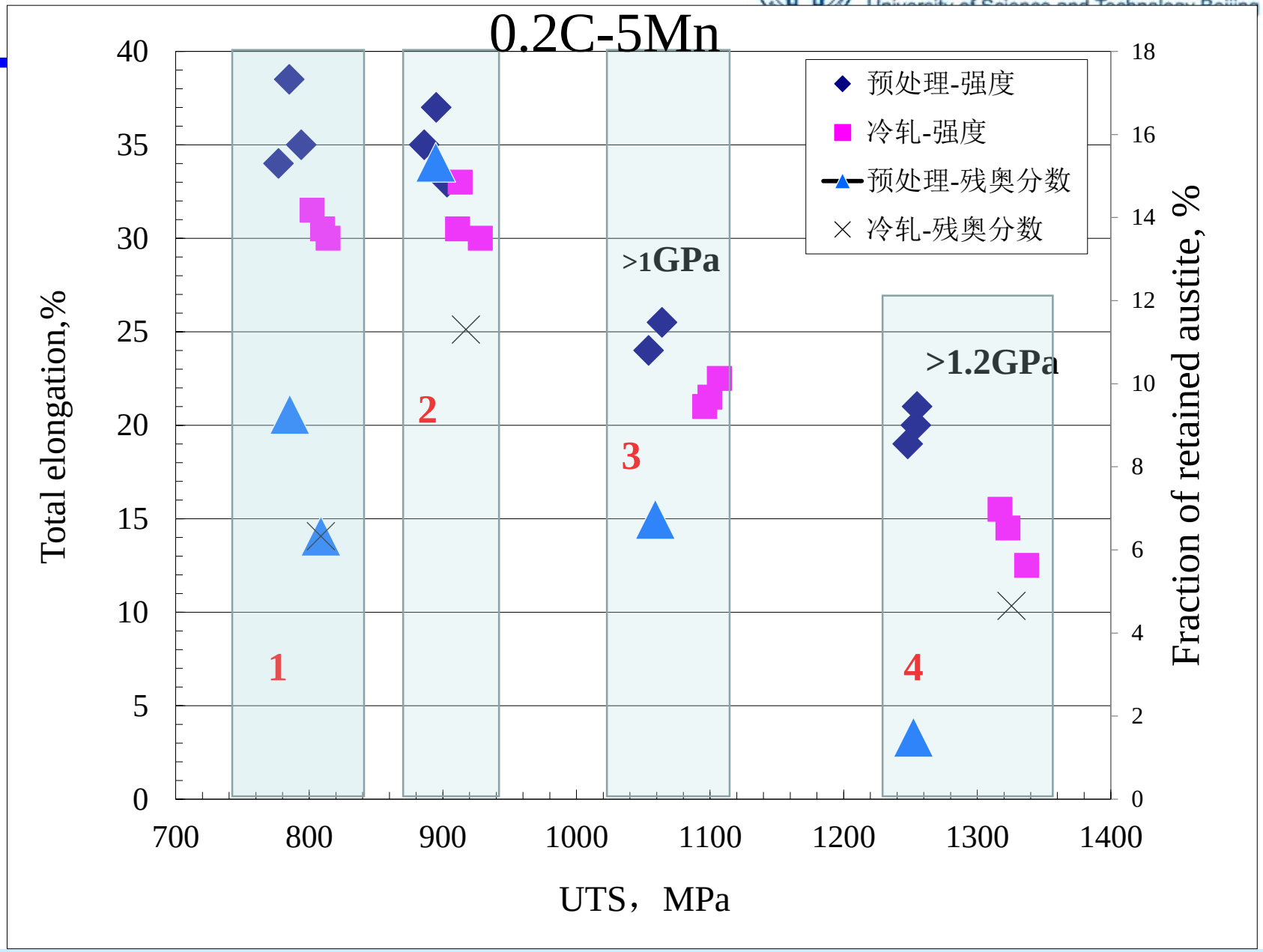
- 热轧板性能最差；
- 冷轧板与预处理板强度接近，但后者塑性明显改善



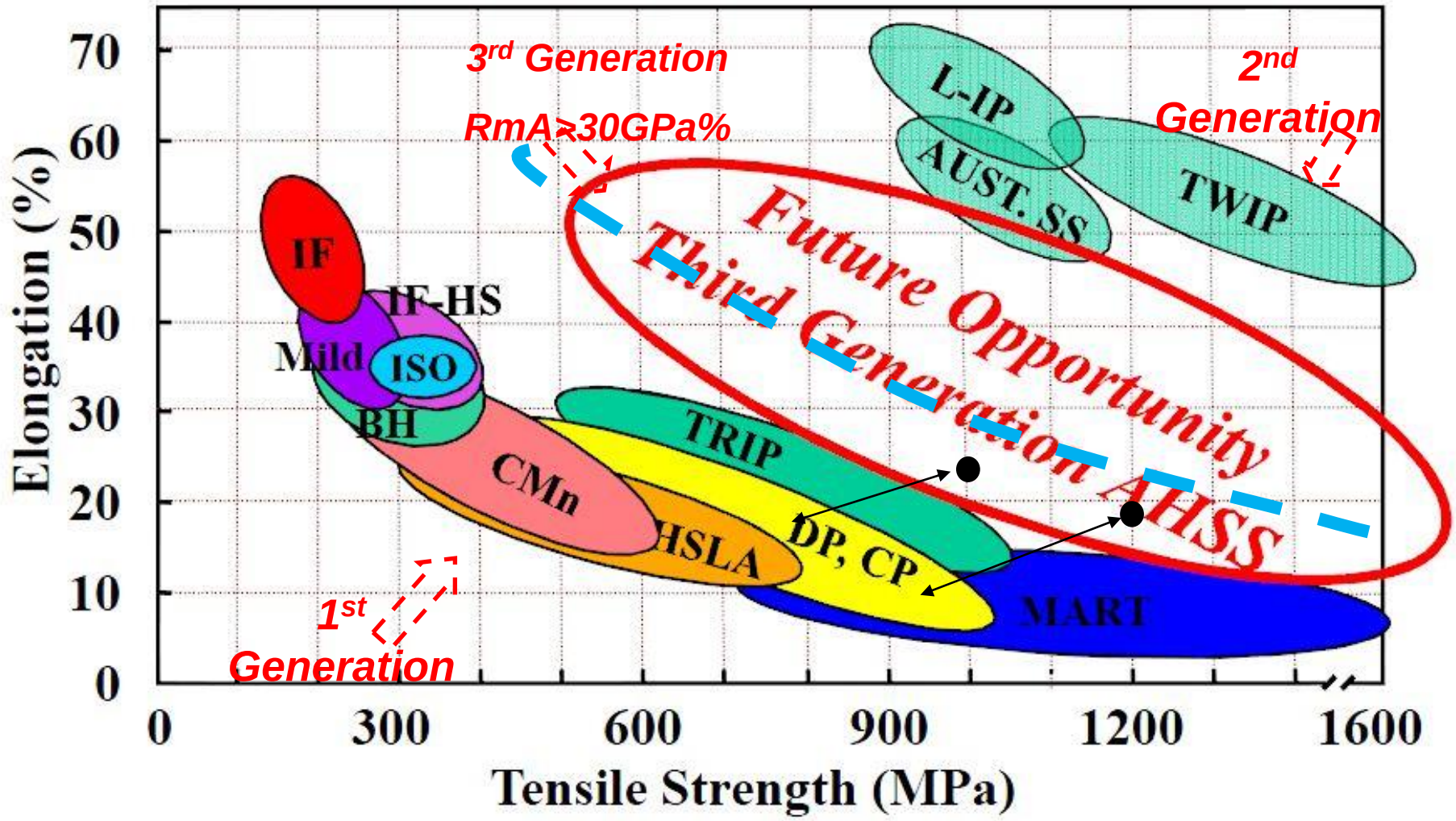
Specimen	Microstructures	Temp.	UTS MPa	YS MPa	UEL %	TE %	YS/ UTS	UTS×TE GPa%
0.2C-5Mn	Pretreated	1	785.3±8.5	726.5±11	11.3±1.4	35.8±2.4	0.93	28.1±1.9
		2	**894.7±8.5**	**628.0±6.2**	**19.2±1.5**	**35.0±2.0**	**0.70**	**31.3±1.7**
		3	**1059.0±7.1**	**545.5±12**	**9.3±0**	**24.8±1.1**	**0.52**	**17.5±1.3**
		4	**1252.3±3.8**	**681.7±16**	**9.0±0.5**	**20.0±1.0**	**0.54**	**25.0±1.3**
	Cold rolled	1	808.7±6.1	775.3±4.5	16.3±1.5	30.7±0.8	0.96	24.8±0.4
		2	917.3±9.3	744.7±8.1	18.7±0.3	31.2±1.6	0.81	28.6±1.3
		3	**1101.0±5.6**	**533.7±9.1**	**14.8±1.0**	**21.7±0.8**	**0.48**	**23.9±1.0**
		4	**1325.7±10.3**	**733.0±20**	**9.3±0.3**	**14.2±1.5**	**0.55**	**18.8±1.9**
0.1C-5Mn	Pretreated	0	780.7±15	728.3±17.2	10.1±0.4	21.7±3.3	0.93	16.9±2.8
		1	760.3±12	688. ±19	11.6±1.0	22.8±4.9	0.91	17.4±3.9
		2	821.3±9.1	594.0±6.1	24.3±0.5	32.8±0.8	0.72	27.0±0.4
		3	**1039.0±25**	**485.7±5.5**	**15.6±1.2**	**23.5±2.2**	**0.47**	**24.4±2.3**
		4	**1211.0±9.2**	**636.0±21**	**10.4±0**	**16.7±3.2**	**0.53**	**20.2±4.0**
	Cold rolled	0	812.3±7.6	798.3±9.1	9.5±0.6	16.7±2.5	0.98	13.5±2.1
		1	777.7±16	760.7±16	16.4±6.7	28.5±5.3	0.98	22.1±3.8
		2	857.0±22	691.7±14	24.1±1.2	29.8±0.8	0.81	25.6±1.3
		3	**1027.3±13**	**545.3±23**	**13.2±1.2**	**19.3±5.8**	**0.53**	**19.9±6.0**

Reults

- 低温时，冷轧预处理组织经退火后残奥分数增加，因此塑性改善；
- 高温时，残奥分数与塑性改善关联不大



汽车用薄板钢发展趋势


3rd Generation
RmA≥30GPa%
2nd
Generation
L-IP
AUST. SS
TWIP
Future Opportunity
Third Generation AHSS
IF
IF-HS
Mild
ISO
BH
CMn
TRIP
HSLA
DP, CP
MART
1st
Generation
Elongation (%)
Tensile Strength (MPa)
0
10
20
30
40
50
60
70
0
300
600
900
1200
1600

Conclusions

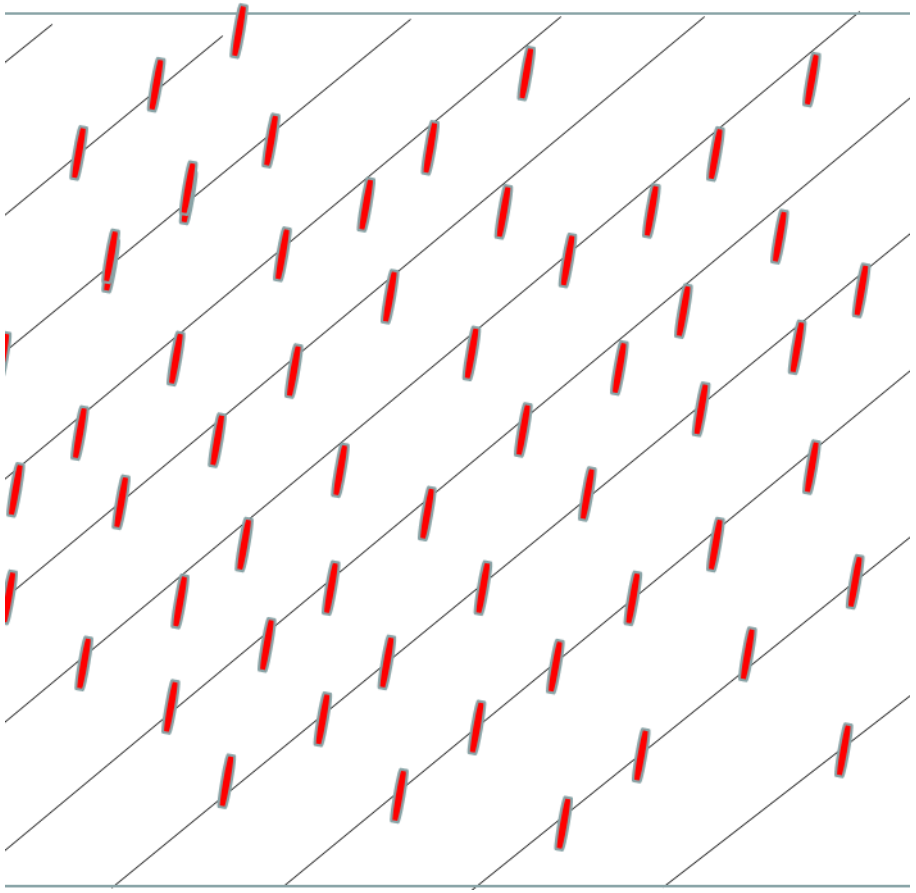
- 中Mn成分系列钢经过短时间退火（10min）就可以得到DP980、DP1180两个级别的双相钢，同时其延伸率显著优于现有的商业化DP980,DP1180，且未来继续提高的空间依然较大
- 退火前的组织对退火后的力学性能影响很大:
  - ✓热轧板退火后的力学性能最差，因为晶粒粗大且有很多碳化物析出；而冷轧板力学性能居中，冷轧板经预处理后保持强度不变而塑性明显改善，且吕德斯带缩短。
  - ✓这是因为其两相区退火后形成的铁素体奥氏体晶粒尺寸在亚微米范围内且均匀，而且加热时尽可能避免析出碳化物，导致在两相区上部温度退火后依然有一定体积分数的、足够稳定性的残余奥氏体保留下来，改善了塑性。

Questions for open discussion

- 对于以获得具有足够稳定性的残余奥氏体的两相区退火工艺而言，其关键点是钢材退火前的组织状态
- 该组织状态应该具有以下特点：
  - 不易在加热时发生再结晶从而得到粗大的铁素体奥氏体晶粒，所以冷轧组织不行；
  - 有广泛分布的、一定尺度的C和Mn富集区域，其富集程度要恰到好处，这些区域在短时退火转变成奥氏体后，但是溶质元素浓度并没有来得及均匀化，这样冷却后可得到残余奥氏体。
  - 大尺寸富Mn渗碳体影响最终残奥的形成，恶化了性能

The ideal microstructure for IA

- C,Mn奥氏体稳定化元素富集区是关键；
- 在马氏体半条上析出细小的、有一定Mn富集度的碳化物。
- 尺寸过大、Mn含量过高的碳化物会其有害作用
- 或者如何通过热轧控制轧制和冷却，形成回火马氏体上析出球状碳化物的热轧组织，可以直接冷轧



碳化物

- 如何控制碳化物的析出和长大？
- 即使300°C/s的快速加热也不能完全抑制渗碳体的形成，很可能是到温后在两相区间形成，

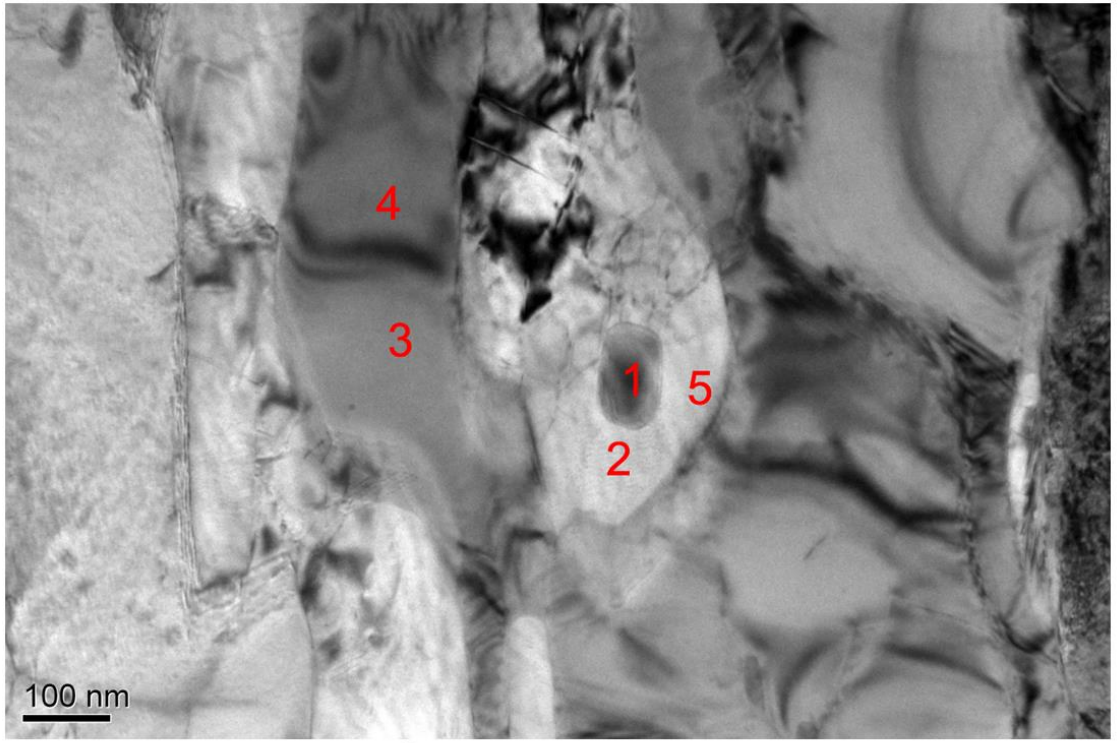


Fig.7 TEM image of microstructures on the specimen, which was subject to the cryogenic cooling and then heated by 300 °C/s to 650 °C and finally quenched after the IA.The measured Mn contents at the positions of '1' (cementite), '2'-'5' (austenite) and '3'-'4' and 2.5%-2.1% in weight percent, respectively.