

# Дисперсионно-твердеющие марки нержавеющей стали для высокопрочных деталей

С. Нестерова, коммерческий директор ООО «ШМОЛЦ + БИКЕНБАХ»

Дисперсионно-твердеющие марки нержавеющей стали были разработаны в 50-х годах прошлого века ведущими мировыми производителями стали. Создание этих марок сталей было ответом на возрастающие потребности новых отраслей промышленности: авиакосмической, нефтяной (строительство гигантских нефтяных платформ в океане), атомной энергетики, т.е. тех отраслей, где требовались новые материалы с повышенными прочностными характеристиками. Ещё одной предпосылкой для создания этих сталей были ведущиеся после второй мировой войны многочисленные гражданские войны на африканском континенте, одном из поставщиков никеля, и недоступность советского никеля из-за «железного занавеса». Эти два фактора заставляли производителей стали искать альтернативные пути по созданию материалов с меньшим содержанием никеля. Первыми производство этих сталей освоили американские сталелитейные компании Armco, Allegheny Ludlum и US Steel Corp. В последующие десятилетия эти марки сталей уже производились большинством металлургических заводов как в США, так и в Европе (Ugitech S.A., DEW GmbH и др.).

В настоящее время эти марки сталей активно применяются при производстве высокопрочных компонентов. Из этих сталей изготавливаются компоненты, подвергающиеся высоким механическим, в т.ч. изгибающим нагрузкам. В арматуростроении они используются для золотников в поворотных заслонках, в шаровых кранах для различных штоков и валов; в судостроении для гребных валов; в химической и пищевой промышленности для поршневых штоков и различных прессов; в автомобилестроении для датчиков давления топлива;

в промышленности строительных материалов и мостостроении для специального крепежа; в насосах для валов и роторов. Области применения дисперсионно-твердеющих сталей многообразны благодаря высоким механическим свойствам и хорошей коррозионной стойкости.

Все дисперсионно-твердеющие марки нержавеющей стали относятся к группе хромоникелевых нержавеющей сталей (Cr ≈ 17%, Ni ≈ 5%),

легированных медью. Их отличительной чертой является возможность получения различных механических свойств в зависимости от выбранного режима термообработки.

При отпуске закалённой легированной стали протекают два противоположных по влиянию на прочностные свойства процесса: понижение прочности из-за распада мартенсита, а с другой стороны, повышение прочности вследствие образования дисперсных частиц. Эффективность упрочнения определяется количественным соотношением процессов разупрочнения и упрочнения. Ещё в 1959 году было описано влияние таких легирующих элементов, как Mn, Si, Mo, W, V, Al, Cu и Co, на протекание процессов изменения прочности. Благодаря наличию в составе нитридов и интерметаллидов во время отпуска закалённых сталей происходит замедление процесса падения прочности.

Наибольшее распространение из всех известных дисперсионно-твердеющих марок нержавеющей сталей получила сталь UGI®4542, которая в американских стандартах имеет обозначение AISI 630. Эта марка стали не используется в закалённом состоянии, поскольку в этом состоянии она обладает полностью мартенситной структурой и недостаточной вязкостью и может подвергаться разрушению из-за охрупчивания.

Более того, в коррозионно-агрессивной среде, содержащей ионы водорода, закалённый материал более подвержен водородному охрупчиванию, а в средах с повышенной концентрацией хлоридов – коррозионному растрескиванию под напряжением. Оптимальная коррозионная стойкость достигается в термообработанном состоянии. Для сталей типа

Марка стали	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Cu	Ni	Nb
UGI®4545	≤ 0,07	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 0,03	≤ 0,015	-	14,0 15,5	≤ 0,5	2,5 4,5	3,5 5,5	≥ 5xC < 0,45
UGIPURE®4545 (ЭШП)	≤ 0,06	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 0,03	≤ 0,005	-	14,5 15,5	≤ 0,5	3,0 4,0	4,0 5,0	≥ 5xC < 0,45
UGI®4542	≤ 0,07	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 0,04	≤ 0,015	-	15,0 17,0	≤ 0,6	3,0 5,0	3,0 5,0	≥ 5xC < 0,45
UGI®4542Q	≤ 0,06	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 0,04	0,010 0,025	-	15,5 16,5		3,0 4,0	4,5 5,0	≥ 5xC < 0,45
UGIMA®4542	≤ 0,06	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 0,03	0,015 0,025	-	15,0 16,5	≤ 0,5	3,0 4,0	4,0 5,0	≥ 5xC < 0,45
UGIPURE®4542 (ЭШП)	≤ 0,06	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 0,025	≤ 0,005	-	15,0 16,5	≤ 0,5	3,0 4,0	3,5 5,0	≥ 5xC < 0,45
UGI®4313	≤ 0,05	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 0,04	≤ 0,015	≥ 0,02	12,0 14,0	0,3 0,7	-	3,5 4,5	-
UGI®4418	≤ 0,06	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 0,04	≤ 0,015	≥ 0,02	15,0 17,0	0,8 1,5	-	4,0 6,0	-
UGI®4418Q	≤ 0,06	≤ 0,6	0,5 1,0	≤ 0,03	≤ 0,015	-	15,0 16,0	0,8 1,1	-	4,5 5,0	-

Таблица 1. Химический состав дисперсионно-твердеющих марок нержавеющей сталей



Индекс		Термообработка	Механические свойства						
Нормы	т/о		Rm (МПа)	Rp0,2 (МПа)	A, %	Z, %	KV (Дж)	HRC	HB
EN 10088-3	+AT	Закалка при 1030-1050 °С	≤ 1200	-	-	-	-	-	≤ 360
ASTM A564	A		-	-	-	-	-	≤ 38	≤ 363
ASTM A564 EN 10088-3	H900	Закалка при 1030-1050 °С, охлаждение на воздухе или в масле + отпуск 1 час при 480 °С, охлаждение на воздухе	≥ 1310	≥ 1170	≥ 10	≥ 40	-	≥ 40	≥ 388
	H925	Закалка при 1030-1050 °С, охлаждение на воздухе или в масле + отпуск, 4 часа, 495 °С, охлаждение на воздухе	≥ 1170	≥ 1070	≥ 10	≥ 44	≥ 6,8	≥ 38	≥ 375
ASTM A564	+P1070	Закалка при 1030-1050 °С, охлаждение на воздухе или в масле + отпуск 4 часа при 550 °С с охлаждением на воздухе	1070 1270	≥ 1000	≥ 10	-	-	-	-
ASTM A564	H1025		≥ 1070	≥ 1000	≥ 12	≥ 45	≥ 20	≥ 35	≥ 331
EN 10088-3	H1075	Закалка при 1030-1050 °С, охлаждение на воздухе или в масле + отпуск 4 часа при 580 °С с охлаждением на воздухе	≥ 1000	≥ 860	≥ 13	≥ 45	≥ 27	≥ 32	≥ 311
ASTM A 564	+P960	Закалка при 1030-1050 °С, охлаждение на воздухе или в масле + отпуск 4 часа при 590 °С с охлаждением на воздухе	960 1160	≥ 790	≥ 12	-	-	-	-
EN 10088-3	H1100		≥ 965	≥ 795	≥ 14	≥ 45	≥ 34	≥ 31	≥ 302
ASTM A564	+P930	Закалка при 1030-1050 °С, охлаждение на воздухе или в масле + отпуск 4 часа при 620 °С, охлаждение на воздухе	930 1100	≥ 720	≥ 16	-	≥ 40	-	-
EN 10088-3	H1150		≥ 930	≥ 725	≥ 16	≥ 50	≥ 41	≥ 28	≥ 277
ASTM A564	+P800	Закалка при 1030-1050 °С, охлаждение на воздухе или в масле + отпуск 2 часа при 760 °С с охлаждением на воздухе + 2ой отпуск 4 часа при 620 °С с охлаждением на воздухе	800 950	≥ 520	≥ 18	-	≥ 75	-	-
ASTM A564	H1150M		≥ 795	≥ 520	≥ 18	≥ 55	≥ 75	≥ 24	≥ 255
EN 10088-3	H1150D	Закалка при 1030-1050 °С, охлаждение на воздухе или в масле + отпуск, 4 часа при 620 °С с охлаждением на воздухе + 2-ой отпуск 4 часа при 620 °С с охлаждением на воздухе	≥ 860	≥ 725	≥ 16	≥ 50	≥ 41	24 33	255 311

Таблица 2. Механические свойства сталей типа UGI®4542/ UGI®4545

UGI®4542 (как и для стали UGI®4545) предусмотрены различные режимы термообработки, которые приведены в *таблице 2*.

В термообработанном состоянии дисперсионно-твердеющие стали отличаются хорошей коррозионной стойкостью к общей и усталостной коррозии, коррозионному растрескиванию под напряжением. В *таблице 3* указана средняя скорость коррозии (мм/год) в некоторых средах.

В городской среде и в зонах с небольшой промышленной нагрузкой дисперсионно-твердеющие стали обладают превосходной атмосферной стойкостью к общей коррозии после любого из существующих режимов термообработки. При эксплуатации в прибрежной полосе на поверхности стали наступает цветоизменение и проявляются признаки оспенной коррозии. Тем не менее, поведение стали типа UGI®4542 в этих условиях лучше, чем у других закаливаемых сталей, и аналогично сталям UGI®4301 (08X18H10)/ UGI®4307 (03X18H11).

Сочетание высоких механических свойств и хорошей коррозионной стойкости, обусловленной наличием в составе стали молибдена, делает эту сталь пригодной для использования в морской среде, в т.ч. в качестве компонентов клапанов и насосов. Однако, как и все нержавеющие стали, сталь типа UGI®4542 восприимчива к щелочной коррозии в стоячей воде. В том слу-

Среда	Концентрация среды, %	t сред., °С	Сталь типа UGI®4542 с разными режимами термообработки				AISI304 UGI®4301 08X18H10
			режим H925	режим H1025	режим H1075	режим H1150	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	35	0	0	0	0	0,70
	2		0	0	0	0	1,45
	5		0,10	0,18	0,28	0,23	6,10
	1	80	0,03	0,03	0,03	0,03	8,90
	2		0,20	0,23	0,33	0,43	12,19
HCl	98	35	0	0	0	0	-
	98	80	0,13	0,13	0,13	0,18	0,15
HNO <sub>3</sub>	1/2	35	0,05	0,05	0,08	0,41	0,84
	1		0,89	4,42	13,16	16,51	6,10
	25	Кипение	0,36	0,15	0,18	0,20	0,05
Муравьиная кислота	50		1,78	0,89	1,19	0,79	0,10
	65		3,18	2,16	2,72	2,01	0,25
Уксусная кислота	5	80	0,08	0,03	0,03	0,05	2,06
	10		0,05	0,08	0,08	0,13	2,54
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	33	Кипение	0,15	0,15	0,10	0,10	7,62
	60		0,05	0,05	0,05	0,05	6,35
	2-1/2	Кипение	0	0	0	0	0
	20		0,03	0,03	0,03	0,05	0,05
NaOH	50		0,10	0,10	0,08	0,13	0,18
	70		2,18	1,45	1,52	3,02	0,81
	30		0,13	0,13	0,18	0,20	0
	50		0,08	0,08	0,10	0,13	0,03
Гидроксид аммония	30		0,20	0,18	0,28	0,28	1,73
	50		12,19	11,43	14,22	14,22	2,032
10% HNO <sub>3</sub> – 1% плавиковой кислоты	10	Кипение	0	0	0	0	0
10% HNO <sub>3</sub> – 3% плавиковой кислоты	-	35	38,10	38,10	38,10	38,10	9,65
	-		109,22	109,22	109,22	109,22	21,34

Таблица 3. Средняя скорость коррозии (мм/год)

чае, если оборудование не используется регулярно, следует предпринимать дополнительные защитные меры, например, использовать катодную защиту.

При использовании нержавеющей сталей в средах с повышенной концентрацией хлоридов возможен риск коррозионного растрескивания под напряжением. Для максимальной стойкости к этому виду коррозии сталь типа UGI@4542 следует подвергнуть термообработке с максимальной температурой отпуска. Проведённые испытания в атмосфере на побережье Северной Каролины (США) показали, что после термообработки по режиму Н900 сталь типа UGI@4542 достаточно восприимчива к этому виду коррозии. При этом испытывались три группы образцов, как со сварными соединениями, так и без, и с различными режимами термообработки Н900, Н1025, Н1075 и Н1150. Нагрузка при испытании составляла 90% от предела текучести  $\sigma_{0,2}$  на данный материал. Эффект коррозионного растрескивания наступил на всех образцах с режимом термообработки Н900 через 68 дней, на всех других образцах с режимами термообработки выше Н900 этого эффекта не было отмечено даже через 25 лет. Поэтому рекомендуемый режим термообработки должен быть не ниже Н1025, т.е. минимально допустимая температура отпуска составляет для этих случаев не менее 550 °С. Другие испытания, уже в среде морской воды, показали, что стойкость к коррозионному растрескиванию сварных соединений сохраняется не менее года, при условии, что после сварки сталь подвергается термообработке по режимам Н1025, Н1075, Н1150 с последующим шлифованием в месте соединения.

Водородное охрупчивание также представляет собой потенциальную угрозу для всех высокопрочных мартенситных сталей. Для её предотвращения используется катодная защита, электролитическое покрытие, гальванические соединения с менее легированными материалами. Лабораторные тесты в среде 18% HCl-1% SeO<sub>2</sub> с нагрузкой на образцы в 690 МПа в продольном направлении показали, что образцы после отпуска при t 480-550 °С сломались в течение 1 ч; образцы после отпуска свыше 590 °С оказались устойчивы к водородному охрупчиванию; пограничные результаты были получены на образцах после отпуска при 590 °С, т.е. часть образцов не выдержала испытаний. Несмотря на неоднозначные результаты испытаний на водородное охрупчивание, за всё время эксплуатации различного оборудования были отмечены единичные случаи отказа из-за охрупчивания. Тем не менее, для гарантированной стойкости следует использовать режимы Н1100, Н1150 и выше.

Согласно международному стандарту NACE MR0175 «Нефтегазовая промышленность – материалы для использования при добыче нефти и газа в серосодержащей среде», дисперсионно-твердеющие стали типа UGI@4542 после термообработки по режимам Н1150М и Н1150Д обладают необходимой коррозионной стойкостью при работе под напряжением в сульфидосодержащей среде.

Все дисперсионно-твердеющие марки нержавеющей сталей характеризуются уникальным сочетанием высоких механических свойств, хорошей коррозионной стойкости и возможности использования при низких (-73 °С) и высоких температурах (+500 °С).

SCHMOLZ + BICKENBACH

Providing special steel solutions



## Готовые решения в области спецсталей со склада в Москве



### ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

- для переработки пластиков
  - для холодного деформирования
  - для горячего деформирования
- быстрорежущие.**

**Горячекатаные и кованые прутки, полосы и плиты в ассортименте.**

### НЕРЖАВЕЮЩИЕ СТАЛИ



- коррозионностойкие
- кислотостойкие
- жаропрочные.

**Калиброванный сортовой прокат (круги и шестигранники), горячекатаные и кованые заготовки.**

### УСЛУГИ ПО ПИЛЕНИЮ МАТЕРИАЛА В РАЗМЕР

#### ООО «ШМОЛЦ+БИКЕНБАХ»

Москва, ул. Подольских Курсантов, д. 34.

Тел. (495) 641-23-24; (495) 384-68-82;

Факс: (495) 385-09-63

E-mail: [moscow@schmolz-bickenbach.ru](mailto:moscow@schmolz-bickenbach.ru);

Web: [www.schmolz-bickenbach.ru](http://www.schmolz-bickenbach.ru)