

Глава 1. Производители и марки стали, используемые при производстве саморезов. Оборудование и технология закалки саморезов.



Все саморезы производятся из стальной проволоки, изготовленной из углеродистой стали. Не будем углубляться в сложный технологический цикл производства стали. Для нас важно следующее:

А. Производители стали.

1. В Юго-Восточной Азии существует множество производителей стали. Есть крупные заводы:

- в Тайване это государственная компания "China Steel", Kaohsiung. Эта сталелитейная корпорация основана в 1971 году и является монополистом региона в этой отрасли. Нароботан огромный опыт в технологии производства, обеспечивающий стабильное высокое качество продукции. Важно также, что сталь для производства саморезов является специализацией этого комбината. В Тайване, где сосредоточено основное мировое производство метизной продукции используется именно "China Steel".

- в континентальном Китае это металлургическая компания "BAO STEEL", Baoshan. Компания начала работу в 1998 году. По объему производства стали занимает пятое место в мире. Производит качественные углеродистые, нержавеющие и специальные стали, которые используются в автомобилестроении, ядерной энергетике, авиации, судостроении и т.д. При этом надо заметить, что интересующая нас сталь для производства саморезов не является значимым и специализированным продуктом для этого металлургического гиганта. Немногие метизные производители используют без сомнения качественную, но дорогую для континентального Китая продукцию "BAO STEEL".

2. А где же в основном производится сталь для метизов в Китае? А на множестве средних и относительно мелких для этой отрасли заводиков. Список большой, названия этих компаний ничего не скажут даже ведущим менеджерам на нашем метизном рынке.

А качество стали? Можно ответить одним словом – разное!! Есть вполне достойные варианты, есть совсем некачественная продукция. Уровень используемого оборудования, технологических возможностей и испытательных лабораторий этих заводов очевидно в комплексе ниже возможностей крупных корпораций.

За счет чего же они выживают на рынке? А за счет гибкого ценообразования. Основной принцип работы этих средне-мелких компаний – "мы сделаем Вам все, что Вы хотите за ваши деньги".

Если Вы попросите "China Steel" или "BAO STEEL" минимизировать Вам цену за счет химического состава или технологии производства – Вас просто не поймут. А на среднем заводике, который не набрал требуемое количество заказов, отлично поймут и сообразят, как уложиться в требуемую цену.

Итого А: продукция крупных комбинатов, выпускающих интересующую нас сталь для производства метизов отличается высоким стабильным качеством и относительно высокой ценой. Продукция мелких и средних заводов, широко используемая в континентальном Китае, характеризуется нестабильным качеством. При этом ее цена может быть ниже. Разница составляет от 2,5 ÷ 4,7 %.

Б. Марки стали.

Существуют множество марок стали. В Юго-Восточной Азии качественная метизная продукция производится из основных трех марок: **C1022, C1018 и C1010**.

В континентальном Китае также широко применяется сталь “хорошая, но марку и химический состав не знаем” – продукция производства мелко/средних заводиков.

Химический состав марок стали, используемых для производства метизной продукции, %.

| Марка стали | C | Mn | P | S | Si | Al |
|-------------------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|
| Углеродистая сталь 1022 | 0,18 – 0,23 | 0,70 – 1,00 | 0,03 max | 0,05 max | 0,10 max | 0,02 min |
| Углеродистая сталь 1018 | 0,15 – 0,20 | 0,70 – 0,90 | 0,03 max | 0,05 max | 0,10 max | 0,02 min |
| Углеродистая сталь 1010 | 0,08 – 0,13 | 0,30 – 0,60 | 0,03 max | 0,05 max | 0,10 max | |

Чем эти стали отличаются? Главное - содержанием углерода. Сталь - сплав железа с углеродом (и другими элементами). Содержание углерода в стали от 0,1 до 2,14 %. Углерод придает сплавам железа прочность и твердость, при этом снижает их пластичность и вязкость. Для каждого изделия из стали нужно подобрать необходимую концентрацию C и легирующих добавок: Mn, Si, Cu, Ni, Cr...

В следующей таблице приведем основные характеристики соотношения твердости и пластичности стали в зависимости от содержания в ней углерода.

| Характеристика стали | Марка стали | Содержание углерода, % | Временное сопротивление, Н/мм ² | Предел текучести, Н/мм ² | Относительное удлинение, % |
|----------------------|-------------|------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------|
| Сверхмягкая | C1010 | < 0,15 | 320 – 400 | 210 | 30 |
| Мягкая | C1018 | 0,15 – 0,20 | 450 – 500 | 270 | 23 |
| Полумягкая | C1022 | 0,20 – 0,30 | 480 – 550 | 280 | 21 |
| Полутвердая * | 10B33 | 0,30 – 0,40 | 500 - 680 | 280 - 330 | 21 - 17 |

* полутвердая, и далее твердые, очень твердые и сверхтвердые стали - для метизов не применяются.

Для производства какого вида крепежа (с учетом требуемых прочностных характеристик изделия) рекомендованы марки стали C1022, C1018 и C1010?

C1010 – универсальные шурупы, нагрузки на них позволяют использовать сталь с C < 0,15%;

C1018 - саморезы для монтажа гипсокартона, саморезы с полуцилиндрической головкой "клоп", ПШО, ПШС. Требования позволяют использовать сталь с C от 0,15 – 0,20%;

C1022 – кровельные саморезы, ПШ премиум класса, саморезы для монтажа ЛМК и сэндвич панелей к металлической обрешетке толщиной 5 - 12 мм. Требования к прочностным характеристикам такого крепежа высокие, для их производства нужна проволока с содержанием углерода не менее 0,2 %!!!

В следующей таблице приводится химический состав стали C 1022 производства "China Steel", %. По результатам испытаний партий проволоки, использованных в производстве саморезов «Favor Fast ®»

| C | Mn | P | S | Si | Cu | Ni | Cr | Mo | Al | B | N | Nb | Ti | V |
|--|------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| Стержень из углеродистой стали SAE 1022, D - 5,0 мм. Свидетельство об испытании от 18.10.2016 г. | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,21 | 0,83 | 0,016 | 0,007 | 0,05 | <0,02 | 0,01 | 0,02 | <0,02 | 0,066 | 0,0001 | <0,02 | <0,008 | 0,001 | <0,008 |
| Стержень из углеродистой стали SAE 1022, D - 7,0 мм. Свидетельство об испытании от 20.10.2016 г. | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,20 | 0,84 | 0,016 | 0,014 | 0,06 | <0,02 | 0,01 | 0,01 | <0,02 | 0,054 | 0,0001 | <0,02 | <0,008 | 0,001 | <0,008 |

Вернемся к характеристикам и качеству стали на примере подробного химического состава стали C 1022 (точное ее название в Тайване SAE 1022) производства "China Steel".

1. Содержание углерода в стали от 0,20 до 0,21 %. Производитель считает, что это оптимальная концентрация для обеспечения необходимой поверхностной твердости и пластичности сердцевин. Примечание. Высокоуглеродистой сталь становится после цементации – это процесс насыщения поверхностного слоя металла углеродом при закалке.

2. Содержание легирующих добавок: Mn – 0,83 ÷ 0,84%, Si – 0,05 ÷ 0,06, Cu, Mo, N < 0,02%, Ni - 0,01%, Cr 0,01 – 0,02%, Al – 0,054 ÷ 0,066%, B – 0,0001%, Nb, Ti, V < 0,008%. Производитель также заявляет, что это оптимально подобранный состав стали для производства качественных саморезов.

3. В зависимости от содержания вредных примесей: серы (S) и фосфора (P) - стали подразделяют на:

- Стали обыкновенного качества. Содержание серы (S)- до 0,06%, фосфора (P) - до 0,07%.
- Качественные. Содержание серы (S)- до 0,035%, фосфора (P) - до 0,035%.
- Высококачественные. Содержание серы (S) - до 0,025%, фосфора (P)- до 0,025%.

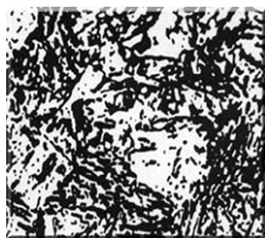
В стали SAE 1022 производства "China Steel" по результатам испытаний содержание серы (S) – от 0,007 до 0,014%, фосфора (P) - 0,016%. Это категория высококачественной стали.

Таким образом, можно сделать вывод, что сталь SAE 1022 производства "China Steel" является конструкционной полумягкой углеродистой высококачественной сталью оптимально подходящей для изготовления саморезов. Но при одном Важном условии – после “высадки” (это многоступенчатый процесс формирования из проволоки геометрии самореза: шестигранная головка, диаметр, нарезка резьбы, формирование сверла и т.д.) – изделия должны пройти процесс закалки.

В. Оборудование и технология закалки саморезов.

Итак, саморезы поступают на термическую обработку. Термообработка позволяет улучшить функциональные характеристики крепежа за счёт изменения структуры металла: достигнуть нужной прочности, износостойкости, задиростойчивости, сопротивлению усталостному и хрупкому разрушениям, повысить стойкость материала к коррозии.

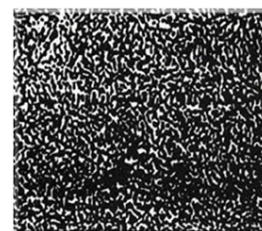
Микроструктура стали до закалки



Термообработка придает металлу однородность макроструктуры, устраняет металлургические дефекты, снижает внутренние напряжения, придает металлу мелкозернистую структуру.

Наглядно это показано на приведенных здесь фотографиях электронного микроскопа: структура стали до и после термообработки.

Микроструктура закаленного слоя



Оборудование, используемое для термообработки метизов. Фото.

Конвейерная линия цементации, закалки и отпуска метизов
Производитель «I Machine Tools Corp», Тайвань.



Проходная печь для закалки и отпуска крепежа, Китай.



Как видно из приведенных фотографий, уровень оборудования может существенно отличаться... Для того, чтобы понять какое качество мы можем получить на каком станке - немного физики процесса. Что происходит с металлом при термообработке и как это влияет на характеристики самореза?

Термообработка конструкционной низкоуглеродистой стали должна состоять из трех этапов: цементация, закалка, отпуск

1. Химико-термическая обработка (цементация).

Цементация – это процесс насыщения поверхностного слоя металла углеродом. Насыщение углеродом позволяет повысить поверхностную твердость и прочность металла, увеличить его износостойкость. При этом сердцевина изделия остаётся мягкой и вязкой. Применяется газовая цементация изделий, позволяющая осуществлять контроль глубины науглероженного слоя.

При цементации углеродистой стали глубина цементации составляет $0,1 \div 0,15$ мм. Именно этот упроченный слой обеспечивает прочностные характеристики самореза и его способность просверливать металл.



Важный момент!!! Если производитель не делает цементацию, а просто закаливает и остужает саморезы из проволоки с изначальным содержанием С менее 0,2% – их прочностные характеристики не соответствуют нормативам. У большого % саморезов из таких партий при монтаже “горит” сверло и сворачивается головка. А “успешно” закрученная часть партии может преподнести неприятные сюрпризы в процессе дальнейшей эксплуатации. Особенно критично это для саморезов с усиленным буром для крепления профилированных листов и сэндвич-панелей к металлическим конструкциям. Сверло таких саморезов при монтаже должно гарантированно пройти металл до 12,5 мм, а саморез в процессе длительной эксплуатации выдерживать значительные динамические нагрузки.

2. Закалка.

Закалка – это процесс термической обработки изделий, заключающийся в нагреве до определённой температуры (зависит от марки стали), выдержке для завершения структурных превращения и быстром охлаждении в закалочной среде (вода, масло, растворы солей, щелочей и т.д.). Закалка придает изделиям повышенную твердость и прочность, однако при этом снижается их ударная вязкость, повышается хрупкость - саморез не имеющий вязкой сердцевины не выдерживает ударных и изгибающих нагрузок. Поэтому крепёжные детали с классами прочности 8.8 и выше (для стержневых деталей типа болт) обязательно должны подвергаться закалке и отпуску.

3. Отпуск.

Для устранения негативных эффектов закалки применяется процесс отпуска: нагрев изделий ниже t закалки и последующем медленном охлаждении в воздушной среде. Чем медленнее протекает охлаждение, тем меньше становятся остаточные напряжения. Отпуск является заключительным этапом термообработки крепежа, он придает изделиям требуемые характеристики. Позволяет снизить хрупкость и устранить внутренние напряжения, увеличить ударную вязкость и пластичность изделий. Твердость с повышением t отпуска понижаются, а пластические свойства возрастают.

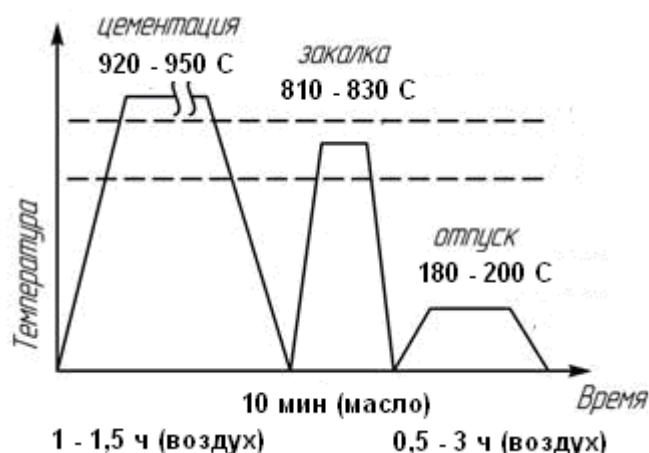
В нашем случае (для низкоуглеродистой стали, прошедшей цементацию) необходим низкотемпературный отпуск. Такой вид отпуска понижает внутренние напряжения при сохранении высокой твердости закаленных деталей. Для обеспечения высокого качества самореза рекомендуется продолжительность отпуска не менее 2,5 - 3 часов, с дальнейшим увеличением выдержки остаточные напряжения очень слабо уменьшаются. Минимально допустимая норма отпуска $30 \div 40$ мин!!!

Очевидно, что эти дополнительные 2 часа выдержки саморезов при температуре $180 \div 200$ °C чрезвычайно затратная процедура, в промышленном масштабе возможная только на современных автоматических линиях. Для примера конвейерная линия цементации, закалки и отпуска метизов «I Machine Tools Corp», Тайвань, модель SY 805-5: потребляет $513 \div 543$ кВт при производительности саморезов $546 \div 598$ кг/час. Дополнительные 2 часа отпуска – это + 1 000 кВт к себестоимости каждой паллеты саморезов и существенное снижение производительности линии, что также повышает себестоимость продукции. В данном случае уместно выражение “время – деньги”.

Итого В: термическая обработка с соблюдением технологии цементации, закалки и отпуска (время низкого отпуска не менее 2,5 часов) дает разницу в цене самореза от $4,2 \div 6,8$ % относительно самореза “эконом-класса”, произведенного на оборудовании низкого уровня качества с нарушением рекомендованной технологии.

Как закалялась сталь?

Для стали с содержанием С: 0,17 – 0,24% рекомендован следующий температурный режим:



Цементация - процесс насыщения поверхностного слоя стали углеродом проходит очень медленно (0,1 мм за 60 мин.). В нашем случае для достижения глубины слоя 0,1- 0,15 мм требуется соотв. 1 – 1,5 часа при температуре 920 – 950 °С.

Закалка - время нагрева при закалке берётся из расчёта: 1 мин./ 1 мм макс. диаметра самореза. 1 мин x 9 мм = порядка 10 мин. при температуре 810 – 830 °С.

Отпуск – для низкого отпуска (130 - 240 °С) время берётся из расчёта: 3 мин./1 мм макс. диаметра самореза, но не менее 30 - 40 минут. 3 мин x 9 мм = порядка 30 мин. при температуре 180 – 200 °С. Рекомендуется не менее 2,5 часов.

Такой температурный режим обеспечивает следующие основные характеристики самореза: Окончательный контроль термической обработки деталей ведут по фактической твёрдости.

Высокая твердость поверхности, HRC: 56 - 62
Пластичная сердцевина, твердость, HV: > 170

Мы не можем привести точный температурно-временной режим термической обработки саморезов «Favor Fast®». Технология нарабатывается годами, она является значимой частью бизнеса и разглашению не подлежит. Термообработка саморезов «Favor Fast®» делается на автоматической линии высокого уровня (наши представители были на ней). Параметры цементации, закалки и отжига близки к приведенным выше, время низкого отпуска не менее 2,5 часов.

Итого мы проанализировали основные параметры стали и технологии ее производства, влияющие на качество саморезов. В следующей таблице приведены основные технические характеристики саморезов «Favor Fast®» полученные на основе результатов испытаний. Протокол испытаний № 168 СТ-09/2016 от 12.09.2016 г. ИЦ ООО «ЕВРОСТАН».

| Основные технические характеристики: | FF W1: 4,8x 29, 35, 50, 70 мм. | FF ST2: 4,8x19 мм. | FF ST3: 5,5x19, 25, 32, 38, 51 мм. | FF ST4: 5,5x25 мм. | FF ST5: 5,5x32, 38, 51 мм. | FF SP5: 6,3/5,5x105, 135, 155, 185, 205, 235, 285 мм. |
|--|--------------------------------------|-----------------------|--|-----------------------|----------------------------------|--|
| HV, твердость поверхности | | | | | | |
| Норма | 450 | 450 | 450 | 560 | 560 | 560 |
| Стандарт завода FF | 560 | 560 | 560 | 580 - 750 | 580 - 750 | 580 - 750 |
| Данные испытаний | 608 | 619 | 628 | 655 | 664 | 641 |
| HV/HRC, твердость сердцевины | | | | | | |
| Норма | 240 | 240 | 240 | - | - | - |
| Стандарт завода FF | 240 - 425 | 240 - 425 | 320 - 425 | 32,0 – 45,0 | 32,0 – 45,0 | 32,0 – 45,0 |
| Данные испытаний | 405 | 410 | 413 | 43,4 | 44,4 | 41,9 |
| Сопротивление на разрыв, kg/cm | | | | | | |
| Норма | 66 | 66 | 102 | 102 | 102 | 106 |
| Стандарт завода FF | 77 - 82 | 77 - 82 | 150 - 155 | 150 - 155 | 150 - 155 | 160 - 166 |
| Данные испытаний | 81 | 81 | 154 | 150 | 152 | 166 |
| Предельный крутящий момент, kg/cm | | | | | | |
| Норма | 71 | 71 | 106 | 116 | 116 | 116 |
| Стандарт завода FF | 90 | 90 | 130 | 150 | 150 | 150 |
| Данные испытаний | 101 | 108 | 141 | 168 | 169 | 167 |
| Скорость засверливания самореза, сек. | | | | | | |
| Норма | 3,50 | 9,00 | 11,00 | - | - | - |
| Стандарт завода FF | 1,5 – 2,0 | 7,00 | 7,00 | - | - | - |
| Данные испытаний | 1,06 | 3,78 | 4,85 | - | - | - |

В заключение.

Данный анализ позволяет сделать нам следующие выводы:

- разница в цене стальной проволоки у различных производителей составляет от 2,5 ÷ 4,7 %.
- термическая обработка с соблюдением технологии дает разницу от 4,2 ÷ 6,8 %.

Итого: изготовление самореза “эконом-класса” за счет качества стальной проволоки и термообработки позволяет уменьшить себестоимость изделия в среднем на 6,7 ÷ 11,5%.

Таким образом, качество и цена стали определяются не только производителем, маркой и химическим составом стали, а зависят от технологии термической обработки саморезов. **Технологическая составляющая цены самореза оценивается на уровне 50%.**

Пренебрежение соблюдения описанных выше технологических процессов приводит к следующим проблемам:

- высокая вероятность горения сверла и сворачиваемости головки самореза – потери 17 ÷ 25% изделий при монтаже.
- сокращение срока эксплуатации самореза под динамической нагрузкой.

Вероятные финансовые потери:

- повышенный расход крепежа, в силу описанных выше факторов.
- возможные гарантийные и пост-гарантийные претензии вследствие частичного или полного разрушения зданий и сооружений.

При использовании стали SAE 1022 "China Steel" и точном соблюдении технологии термической обработки, мы получаем технические характеристики с существенным запасом превышающие норму. На примере саморезов «**Favor Fast®**», превышение норматива в среднем, %:

- твердость поверхности – 27% для всех типов: FF W1, FF ST2, FF ST3, FF ST4, FF ST5, FF SP5.
- твердость сердцевины – ниже на 4% от верхней границы стандарта завода FF для всех типов: FF W1, FF ST2, FF ST3, FF ST4, FF ST5, FF SP5.
- сопротивление на разрыв – 23% для типов: FF W1, FF ST2 и 47÷ 56% для типов: ST3-ST5, FF SP5.
- предельный крутящий момент – 44% для всех типов: FF W1, FF ST2-ST5, FF SP5.
- скорость засверливания самореза – 61% для типов: FF W1, FF ST2, FF ST3.

