

## **Chopsaw Notching, Tube Strength & Link Construction**

**By Bill “BillaVista” Ansell**

Photography: Bill Ansell

Chopsaw Notch Angle Calculations: Marc "Tigweld" Googer

Copyright 2006 - BillaVista Offroad Tech

### **Introdução**

Nos últimos cinco anos, suspensões por links têm se tornado muito populares, e isso se deve a uma boa razão, elas oferecem não somente a melhor performance, mas também a maior flexibilidade. Projetando uma suspensão multi-link, você tem maior controle sobre como ela trabalha e também maior facilidade no posicionamento de componentes próximos, como freios, escapes e barras de direção. Contudo, devido a sua localização e ao contato com rochas ao qual esta sujeita, ela pode ser um tanto quanto vulnerável. Combinando isso ao trabalho crítico que tem os links, de fixar e posicionar os eixos, sobretudo em sistemas de alto torque. Poucas coisas podem ser mais desagradáveis do que um link entortado ou empenado, e terminais ou buchas destruídos durante uma trilha.

Muitos experimentaram essa frustração, e muitos perguntam: Como e com que material devo fabricar minha suspensão? Este artigo pretende fornecer algum esclarecimento a respeito.

Existem essencialmente cinco etapas para construir links de suspensão, eles vão preencher suas necessidades para que o resultado fique como você espera. Eles são:

- Conhecer e pré-visualizar fatores de projeto.
- Selecionar o material para o link.
- Selecionar o tipo de junta para o fim dos links.
- Decidir entre características específicas de projeto, como offset e curvas de afastamento.
- Entalhamento e junção do tubo às juntas de articulação.

Neste momento você deve estar se perguntando se eu não estou complicando um bocado. Eu não poderia dizer: “Pegue um tubo trefilado de aço 1020, de 2” x 1/2” de parede e solde nele os seus terminais favoritos” e deixar por isso mesmo? Bem, sim, e não. Sim, isto pode funcionar para alguns, mas eu sei que esta não é melhor solução para muitos – dependendo das necessidades. Mais importante, muitas das coisas que eu discutirei aqui podem ser aplicadas igualmente ao projeto, seleção ou a fabricação de qualquer parte - seja uma ligação simples da suspensão ou um chassi inteiro – custo benefício, peso, aparência, etc. isso sempre conta.

#### Fatores de Projeto

Antes de falar especificamente sobre a construção de links, é importante conhecer alguns fatores que devem ser considerados quando projetamos qualquer peça. Nós precisamos conhecer estes fatores, pois todo projeto é um conjunto – um equilíbrio cuidadoso. É impossível se obter o melhor em tudo – o mais forte, os mais leves, mais fáceis e mais baratos simplesmente não andam juntos. Eu me lembro do slogan de uma loja local de máquinas: “Nós oferecemos três tipos de serviços – Bom, Rápido e Barato – Mas você só pode me pedir dois deles.” A máxima é verdadeira em todo o trabalho que fazemos. Ao finalizarmos um projeto ou fabricarmos qualquer peça, devemos ter consciência da importância relativa que agregamos a cada um dos seguintes fatores. Não existe

nenhuma resposta certa (embora provavelmente existam muitas erradas) e as necessidades são diferentes para todos, mas para evitar desapontamentos e frustrações devemos considerar:

- **Custo:** O fator mais óbvio, mas também o que pode mais facilmente tomar caminhos inesperados. Obviamente, você quer o mais forte e confiável que for possível, mas você tem que ser prático também. Titânio é maravilhosamente forte e leve, porém horrendamente caro, e difícil de soldar. Você também precisa estar ciente de possíveis custos futuros. Claro, com todas as “horas extras” esse mês eu poderia ter recursos para fazer tudo em aço 4340 – cromo molibdênio, e poderia ter um colega que possui a máquina e o conhecimento para soldá-lo corretamente – mas será que eu terei recursos no futuro para fazer um reparo? E será que ainda terei acesso a uma solda TIG?

- **Tamanho:** Resistência quase sempre aumenta com um diâmetro maior dos tubos. Claro, você poderia usar uns tubos de 6” de diâmetro externo e eles nunca iriam se curvar, mas como você iria fazer caber esses tubos? Você deve examinar os seus limites práticos para saber qual tubo usar.

- **Peso:** Pode ou não ser terrivelmente importante pra você. Para competidores, peso é um fator maior, para outros, talvez nem tanto. Contudo esteja ciente de que este peso, e onde ele está localizado, vai alterar as características de desempenho de todos os equipamentos. Ele também pode aumentar muito mais rápido do que você imagina, lembre-se, peso é sempre uma troca – força contra força.

- **Facilidade de fabricação:** com isto quero dizer, corte, solda, dobras, junções etc. Este fator está amplamente ligado ao tamanho, não seria bom comprar um tubo cromo-moly, de ½” de parede se o seu projeto pede que se faça uma dobra em uma dobradeira manual. Do mesmo modo, mesmo que você consiga obter tubos de titânio, não adianta se você não puder cortar ou soldar apropriadamente. Considere cuidadosamente se você possui as ferramentas, o tempo e a habilidade técnica para lidar com o material escolhido e tornar seus sonhos realidade.

- **Facilidade de reparos ou substituição:** O material que você escolheu é fácil de ser achado novamente? Ou é algum tipo de tubo desconhecido, ou encontrado nas sobras de alguma obra? Se você utiliza juntas de produção comercial, (como deveria ser) elas vão estar disponíveis no futuro? Elas podem ser reparadas e há peças a venda individualmente? Não se esqueça, não importa o quanto é forte; tudo pode ser quebrado – você estará apto a fazer um reparo numa trilha se necessário?

- **Estética:** como a aparência é importante. A quantidade de tempo, dinheiro e sacrifício que vai em um equipamento desses são enormes – eu sei. Você precisa ser capaz de voltar-se pra ele a qualquer momento e pensar “Cara, eu amo minha suspensão”. Não importa o tamanho do que você fez, ou quão forte isso é se você eventualmente vai odiar-se ao olhar para seu trabalho e pensar: “Eu conheço meu Frankenstein, suportes reforçados, links muito fortes – mas... como parece uma gambiarra”.

- **Forma e projeto:** eu discutirei que, grama por grama, os tubos mecânicos de perfil redondo são os mais indicados para todos nós. É facilmente encontrado em uma grande variedade de diâmetros e espessuras para servir a todas as necessidades, fácil de cortar, entalhar e soldar com ferramentas que muitos de nós já possuímos ou podemos facilmente justificar a compra (pois tubos são tão largamente usados e possuem tantas aplicações que sempre teremos utilidade para as ferramentas), tem boa aparência, ocupam pouco espaço, é liso para deslizar por sobre as pedras ou pra fora delas, e existem inúmeras juntas ajustáveis e não ajustáveis desenvolvidas para tubos redondos. Isso não quer dizer que você não possa fazer ótimos links com esquadrias ou tubos retangulares – você pode. Contudo eu estou me dirigindo às tubulações redondas neste artigo. Eu também tenho preferência por links retos. Primeiro, eles são mais fáceis de fabricar e projetar. Segundo, um link que possui uma dobra, seja para afastamento ou outras finalidades de projeto, vai sempre requerer a aplicação de algum tipo de braço para manter sua resistência

original – e é muito provável que isso tome boa parte do espaço obtido com a dobra. O resultado é muito pouco espaço ganho, mas com acréscimo de peso e de complexidade. Dobras bem estudadas sempre têm o seu lugar, mas para a maioria de nós, são desnecessárias e complicadas para fazer ou reproduzir. Consertar uma dobra cuidadosamente feita numa trilha pode ser uma tarefa impossível, enquanto um link reto pode ser martelado, ou forçado muito mais facilmente no sentido contrário, fazendo-o parecer novamente com uma linha reta.

Naturalmente, o fator de projeto mais importante a considerar é o objetivo – o que nós estamos tentando construir e o que nós queremos que isso faça? Links de suspensão serão forçados de inúmeras maneiras - na compressão e na tensão como neutralizam o torque da linha motriz, na torção enquanto posicionam o eixo durante a articulação, e na dobra como contatam rochas e obstáculos. É neste último caso onde a resistência dos links é mais crítica. Raramente um link quebra por tensão ou torção, mas frequentemente vemos links entortados por abuso nas condições de direção por terrenos difíceis. Então o que nós queremos é um link que resista ao dobramento o tanto quanto possível. A seguinte lista esboça as seis coisas que nós temos que decidir ao construir nossos links, e é seguida por alguma prova técnica dos fatores.

#### **As seis coisas a se considerar são:**

1. Comprimento: o comprimento do link será pré-determinado pela localização do eixo e pelo projeto. Entretanto devemos ter em mente que quanto maior os comprimentos dos links, mais suscetíveis a entortar eles serão. Quanto maior é o link maior será a alavanca que fará com que ele se dobre, ao encostar em algum objeto ao longo do seu comprimento. Estando ciente disso, podemos compensar o comprimento de um link muito longo pelo comprometimento de outros fatores (como custo e peso) usando um tubo com maior diâmetro ou parede do que seria preciso para um link mais curto.

2. Diâmetro: o diâmetro externo (D.E) de um tubo é o fator mais importante para determinar a sua força. Nenhum outro fator vai ter uma importância tão grande na capacidade do nosso link em resistir ao dobramento. Se você quer os links mais fortes possíveis, a linha de base para o D.E. é nada menos que “tão grande quanto couber”.

3. Espessura de parede: (E.P) a espessura da parede de um tubo, é o segundo fator mais importante na sua resistência ao dobramento. Contudo, desde o maior fator OD, que vai provavelmente ser determinado pelo espaço disponível, a espessura é o fator que nós devemos determinar com maior cuidado.

4. Material: o material com o qual os links serão fabricados, segue colado à espessura em termos de determinância da resistência ao dobramento. O aço é a escolha óbvia para isso, ele é a combinação da força, da rigidez, da elasticidade, do peso, da facilidade de fabricação, e do custo. Existem quatro tipos comuns de aço para escolhermos: ASTM A-53 (ou similar), costurados por resistência elétrica ERW, trefilados ou sem costura (SAE 1020 – 1045) e ligas cromo-molibdênio (SAE 4350). A escolha do material tem um efeito significativo nas propriedades do link - especialmente quando você considera que as forças de rendimento variam de 30.000 libras por polegada quadrada para a tubulação de ASTM A-53 a 90.000 libras por polegada quadrada para o tubo cr-mo. Entretanto, esta diferença não é tão pronunciada como você pode pensar, e mudar materiais, frequentemente não tem o mesmo efeito que mudar o DE ou a espessura do tubo. Por exemplo, aumentar um link de tubo 1020 DOM de 2” DE para 2.5” DE terá um efeito muito maior do que permanecer em 2” DE e apenas mudar para 4340 chrom-moly.

5. Terminais – tipos de junta: a resistência total do link, assim como sua resistência durante as articulações depende muito das juntas utilizadas. Felizmente existem muitas boas opções disponíveis no mercado hoje em dia – já se foi o tempo em que eu fiz minhas primeiras juntas ajustáveis com pouca escolha utilizando as juntas velhas do trator. Junto com a potencialidade da força e da deflexão há muitos outros fatores a considerar na seleção comum, incluindo o preço, durabilidade, disponibilidade, ajustabilidade, e se podem ser lubrificadas e/ou reconstruídas.

6. Nossa tolerância à falhas dos componentes: o mais pessoal e difícil de quantificar de todos os fatores. É o detalhe mais importante a ser observado na fase de projeto. Algumas pessoas gostam do ciclo constrói-quebra-re-constrói, enquanto outras desgostam/desprezam peças quebradas, incluindo a perda de tempo, frustração, perda de competitividade e situações precárias de rodagem. Entretanto se você está satisfeito refazendo todos os cortes, afinando o seu projeto ou refazendo um link torto pela terceira vez, e quer levar as coisas ao último estágio, com certeza isso vai afetar suas decisões.

Felizmente para nós, nós não temos que fazer cálculos detalhados de engenharia a fim de projetar um material e produzi-lo para nós mesmos. Já existe uma riqueza de escolhas boas prontamente disponíveis, junto com a informação em primeira mão de pessoas que usaram produtos diferentes. Com um catálogo dos fornecedores, este artigo, e um pouco de fritar a cabeça você achará a combinação ideal para seu projeto. A tabela 2 mostra as dimensões e as espessuras de tubulação mecânica redonda geralmente disponível em uma escala dos tamanhos prováveis para a construção de links de suspensão. Note particularmente o peso por comprimento (1 pé/ft = 330 mm). Embora os preços não estejam mostrados, tendem a aumentar exponencialmente com o tamanho e o peso do tubo.

#### **Escolhendo Diâmetros, espessuras de parede e materiais:**



A fim de tomar uma decisão bem informada sobre que tubo nós queiramos usar para construir nossos links, é útil explorar um pouco mais detalhadamente o efeito do DE e da EP na força relativa de tipos diferentes de tubo. Para isso nós devemos considerar dois conceitos separados, mas relacionados - quanto stress um tubo resistirá para uma carga dada, e como será a reação do tubo a esse stress. O stress é relacionado à secção (forma) e ao tamanho do link. A reação é relacionada ao material do qual fabricamos o link.

Para fazer uma comparação útil, porém simples é necessário aplicar algumas fórmulas a um modelo muito simplificado. Os seguintes cálculos não pretendem representar cálculos reais da engenharia em nenhuma maneira, mas são suficientes para ilustrar os conceitos gerais para finalidades comparativas. O modelo contém as seguintes simplificações e suposições:

- Assuma que o link é feito de um tubo.
- Assuma que o tubo é redondo, cavado, com DE uniforme, e EP uniforme.
- Assuma que quando instalado, o link forma uma barra suportada igualmente por ambas as terminações.
- Assuma uma carga constante, apoiada no ponto médio do comprimento do link.

- Assuma um link de 48", (121,92cm), e uma carga aplicada de 5000lbs (337,8Kgf).

O modelo não leva em conta cargas múltiplas, cargas dinâmicas, choque/impacto, desvios de secção (como no exemplo dos links ajustáveis), ou as cargas aplicadas em posições fora do centro.

A fórmula para calcular o stress máximo em uma barra suportada em ambas as extremidades, com a carga aplicada no centro é:

$$S = (W.L) / 4(Z)$$

Onde:

S = Stress (psi)

W = Carga aplicada na barra (psi)

L = Dist. de onde o tudo é suportado até onde é aplicada a força (pol)

Z = Seção modular da secção da barra.

A seção modular de um tubo redondo é calculada por:

$$Z = I / Y$$

Onde:

Z = módulo da secção

I = momento de inércia

Y = distância entre o neutral axis (centro do longitudinal do tubo) e o limite externo da secção. Em outras palavras, o raio do tubo.

O momento de inércia, é dado pela seguinte fórmula:

$$I = 0,049(D^4 - d^4)$$

Onde:

I = momento de inércia

D = DE (diâmetro externo do tubo)

d = DI (diâmetro interno do tubo)

Como a fórmula para I leva em conta DE e DI do tubo, é a mesma coisa que usar o DE e a espessura de parede - isto é o diâmetro interno é igual ao DE menos duas vezes a EP.

O momento de inércia realmente descreve o quão fácil uma barra se dobra, determinando a quantidade de material que se tem, e o quanto este material está afastado do neutral axis (a linha sobre a qual a dobra ocorre). A experiência comum nos mostra a veracidade da equação: Você pode facilmente dobrar uma barra de aço maciça de 90 cm com 1/4" de diâmetro com a mão, mas seria impossível dobrar a mão uma mesma quantidade de material se este fosse afastado do neutral axis como em um tubo com parede de 1/8" e 4" de DE.

Então, com o DE e a EP nós podemos calcular o momento de inércia e a secção modular de qualquer tubo. Valores calculados para tubos comuns estão inclusos na Tabela 2. Se nós então pegarmos nosso modelo, assumindo um link de 48" e uma carga teórica de 5000lbs nós poderemos calcular o stress máximo no centro do tubo sobre tal carga. A tabela 2 também possui esse cálculo. Mas comparando os resultados deste cálculo de stress nós podemos ter uma boa idéia de resistência relativa (em termos de resistência ao dobramento) de diferentes tamanhos de tubos. Para deixar a comparação mais clara, eu escolhi (arbitrariamente) atribuir o valor de 1 ao stress (calculado para o nosso modelo) em um tubo de 1 3/4 x 1/4". Eu calculei então a diferença

percentual entre o stress de todos os outros tubos comparado a esse valor base. Os resultados aparecem na ultima coluna da tabela 2, com um “-“ indicando que o tubo é -x% mais fraco que o nosso modelo e um “+” indicando o quanto ele é mais forte. Para comparar dois tubos diretamente, pegue o valor de stress mais alto, subtraia o do mais baixo, divida o resultado pelo mais alto e multiplique por 100.

Por exemplo, se eu estou tentando decidir entre usar um tubo de 2 x 1/2” ou, tentar economizar em peso e custo utilizando um tubo de 2 x 3/8”, eu posso calcular a diferença de resistência entre os dois como segue:

Da tabela 2:

2 x 3/8” - stress – 3763

2 x 1/2” - stress – 3401

$(3763-3401) / 3763 = 0.096 \times 100 = 9,6\%$  (o tubo de 1/2” é ~ 10% mais forte)

Contudo, com 8lbs/pé, o tubo de 1/2” é 19% mais pesado que o de 3/8” (6,5lbs/pé) e somente 10% mais forte.

#### Material

Agora, você pôde razoavelmente perguntar, como você compara tubos diferentes feitos de materiais diferentes? Lembre-se de que o segundo fator que devemos considerar na força de nossos links é a sua reação ao stress. Isto é, ao escolher um tubo baseado na espessura do DE e da parede, você pode ver que quanto mais forte o tubo, menos stress experimenta para uma dada carga - mas o que isto traduz no mundo real? Como o stress se relaciona à dobra? Há uma equação que pode ser usada para calcular quanto um tubo se dobrará ou se flexionará sob carga.

$$F = [(W) (L^3)] / [48(E) (I)]$$

Onde:

F = flexão máxima sob carga

W = carga aplicada (psi)

L = distancia da junção ao local de aplicação da carga (pol)

I = momento de inércia

E = modulo de elasticidade do material

O modulo de elasticidade é uma medida de rigidez, e é um valor constante para todos os aços (aproximadamente 30.000.000 libras por polegada quadrada). Esta equação ilustra que quanto o tubo dobrará sob a carga é relacionado ainda somente ao OD e espessura de parede, não ao material, desde que a equação inclui (I) e (E) mas nenhuma variável que esclarece diferenças no material. O que isso quer dizer é que todos os aços são comparáveis em rigidez, eles todos resistirão a dobrar em uma quantidade mais ou menos idêntica - da tubulação barata à tubulação cara cr-mo. A diferença entre eles é o que acontece quando se dobra. Os aços melhores, mais caros, devido a seus pontos de rendimento muito mais elevados e escalas elásticas maiores (tabela 2), de - flexionam mais facilmente fora da carga, retornando a forma original. Os materiais inferiores, podem eventualmente ceder (dobrar permanentemente) ou até chegar ao rompimento. A chave para a diferenciação entre aços é o relacionamento entre o stress e a força de rendimento do material. Quando o stress é maior do que a resistência à flexão, o link vai ceder ou dobrar permanentemente (limite de escoamento), quando o stress é menor que a resistência à flexão, o link retorna a sua forma original após a remoção da carga. A tabela 2 mostra uma lista dos materiais comuns usados nos links e em outras construções relacionadas ao 4x4. Note os diferentes limites de escoamento no rendimento dos tipos de aço.

Não seja tentado a comparar diretamente os números de stress na tabela 2 aos limites de escoamento da tabela 1, porque os números na tabela 2 são puramente arbitrários, para finalidades de comparação somente, e não representam o cenário real. Por exemplo, não queira olhar a tabela 2 e notar que o exemplo do stress para uma carga de 5000 libras é somente 15.000psi. Então olhar a tabela 1 e calcular que estas 15.000psi são somente a metade do limite da tubulação para concluir que um tubo de 1-1/2"x 1/8" será forte bastante, porque este seria um erro. Os cálculos reais de cargas dinâmicas são mais complicados do que eu mostrei aqui, e é provável que em serviço seus links verão dez, talvez cem vezes mais stress do que mostra a tabela 2. As equações e os valores mostrados aqui são simplesmente a fim de compreensão ilustrando os conceitos discutidos, não devem ser usados para cálculos, e não incluem elementos críticos tais como o fator de projeto, as cargas de impacto, as margens de segurança, e os fatores da fadiga do material!

Quando observamos as tabelas 1 e 2 juntas, a linha de fundo se torna aparente:

- Quanto maior o DE e a EP do tubo que você escolher, menos stress o link vai sofrer sob qualquer carga aplicada.
- Quanto melhor a qualidade do aço que você optar por usar, menos provável vai ser de qualquer stress superar o limite de escoamento do tubo, causando deformações permanentes e/ou a ruptura do material.

Tabela 1 – Limites médios de escoamento para diferentes materiais.

Material	Limites de escoamento, PSI*
ASTM Grade A-53 pipe	30, 000
1020 ERW tube	40, 000
1020 DOM	70, 000
4130 Cr-Mo	90,000
4340 Cr-Mo	120,000

\* Valores representativos médios somente - os valores variam extremamente e dependem da condição do produto. Por exemplo, chrom-moly o aço 4340 pode ter um limite a escoamento variando de 68.000psi (recozidas em 1490°F) a 243.000psi (temperado em 400° F). Consultar a especificação exata do fornecedor do produto para dados precisos.

Em minha opinião, as melhores opções para construção de links são os tubos trefilados em aço 1020 a 1026. Canos comuns são muito fracos e moles para uma aplicação crítica como essa. Tubos com costura HREW, variam muito em uniformidade e possuem um acabamento ruim de trabalhar e que requer limpeza antes de soldar. Os tubos rolados a frio REW, são mais fortes e mais uniformes, porém não são baratos para compensar o uso ao invés dos trefilados DOM. Por outro lado, a tubulação em 4340 é extremamente forte, mas eu acredito que essa resistência pode ser alcançada com o dimensionamento correto do DE e da EP em um tubo DOM em aço doce 1020. O 4340 também tem uma soldagem muito restrita, tratamento térmico pós-solda e requer alívio de tensão. Em minha opinião deve ser soldado somente com TIG ou Oxi-Acetileno, e tão somente se um correto alívio de tensões for feito após a soldagem. Certo, pessoas usam solda MIG a toda hora, e você pode com segurança fazer assim - MAS - o que você terá na realidade é um tubo superior com uma junção inferior da solda que reduz a força total do que quer que você fabricou, ao ponto mais fraco (a solda neste caso) e assim você tem uma estrutura muito cara e que não é melhor do que uma feita de 1020 trefilado. Quando eu recentemente refiz minha suspensão, 3 link dianteira e 4 link traseira eu usei uma combinação de 2 x 3/8", 2-1/4" x 1/4" e 2 x 3/16" em 1026 trefilado. Na tabela 2 os valores desses três tubos estão destacados para uma fácil comparação com o nosso modelo arbitrário de 1 - 3/4" por 1/4".

Uma última consideração que se relaciona primeiramente ao tipo do material e a EP é a propriedade da resistência ao impacto. Com isto me refiro a habilidade do link em resistir a amassamentos, arranhões e entalhes localizados. Isso é muito difícil de quantificar para uma comparação numérica direta, ao menos nós podemos indicar que quanto mais grossa a parede e mais elevada a qualidade do aço “mais resistente” o tubo será e melhor resistirá aos danos.

A tabela 2 dá as dimensões e o peso aproximado para uma variedade larga dos tubos que estão disponíveis em ERW, em DOM, e em Cr-Mo, algum deles deve preencher suas necessidades. Verifique com seu fornecedor se há a disponibilidade de um tamanho e de um tipo em particular.

**Tabela 2 – propriedades dos tubos**

OD	OD Decimal	Wall	Wall decimal	ID	Lbs / Ft	Moment of Inertia (I)	Section Modulus (Z)	Stress (psi)*	% change**
1 1/2"	1.500	1/8	0.125	1.250	1.836	0.1284	0.1712	14599	-56%
1 1/2"	1.500	3/16	0.188	1.125	2.634	0.1696	0.2261	11057	-42%
1 1/2"	1.500	1/4	0.250	1.000	3.338	0.1991	0.2654	9419	-32%
1 1/2"	1.500	5/16	0.312	0.875	3.968	0.2193	0.2925	8548	-25%
1 1/2"	1.500	3/8	0.375	0.750	4.506	0.2326	0.3101	8062	-20%
1 1/2"	1.500	7/16	0.437	0.625	4.960	0.2406	0.3208	7793	-17%
1 1/2"	1.500	1/2	0.500	0.500	5.340	0.2450	0.3267	7653	-16%
1 5/8"	1.625	1/8	0.125	1.375	2.003	0.1665	0.2050	12198	-47%
1 5/8"	1.625	3/16	0.188	1.250	2.885	0.2220	0.2733	9148	-30%
1 5/8"	1.625	1/4	0.250	1.125	3.671	0.2632	0.3239	7718	-17%
1 5/8"	1.625	5/16	0.312	1.000	4.386	0.2927	0.3602	6940	-7%
1 5/8"	1.625	3/8	0.375	0.875	5.006	0.3129	0.3852	6491	-1%
1 5/8"	1.625	7/16	0.437	0.750	5.553	0.3262	0.4014	6228	3%
1 5/8"	1.625	1/2	0.500	0.625	6.008	0.3342	0.4113	6078	6%
1 3/4"	1.750	1/8	0.125	1.500	2.169	0.2115	0.2417	10343	-38%
1 3/4"	1.750	3/16	0.188	1.375	3.136	0.2844	0.3250	7691	-16%
1 3/4"	1.750	1/4	0.250	1.250	4.005	0.3399	0.3885	6435	0%
1 3/4"	1.750	5/16	0.312	1.125	4.804	0.3811	0.4355	5740	12%
1 3/4"	1.750	3/8	0.375	1.000	5.507	0.4106	0.4692	5328	21%
1 3/4"	1.750	7/16	0.437	0.875	6.137	0.4308	0.4924	5077	27%
1 3/4"	1.750	1/2	0.500	0.750	6.675	0.4441	0.5075	4926	31%
1 7/8"	1.875	1/8	0.125	1.625	2.336	0.2639	0.2815	8880	-28%
1 7/8"	1.875	3/16	0.188	1.500	3.387	0.3576	0.3814	6555	-2%
1 7/8"	1.875	1/4	0.250	1.375	4.339	0.4305	0.4592	5445	18%
1 7/8"	1.875	5/16	0.312	1.250	5.222	0.4860	0.5184	4823	33%
1 7/8"	1.875	3/8	0.375	1.125	6.008	0.5271	0.5623	4446	45%
1 7/8"	1.875	7/16	0.437	1.000	6.722	0.5566	0.5937	4211	53%
1 7/8"	1.875	1/2	0.500	0.875	7.340	0.5769	0.6154	4063	58%
2"	2.000	1/8	0.125	1.750	2.503	0.3244	0.3244	7706	-16%
2"	2.000	3/16	0.188	1.625	3.638	0.4423	0.4423	5652	14%
2"	2.000	1/4	0.250	1.500	4.673	0.5359	0.5359	4665	38%
2"	2.000	5/16	0.312	1.375	5.639	0.6089	0.6089	4106	57%
2"	2.000	3/8	0.375	1.250	6.508	0.6644	0.6644	3763	71%
2"	2.000	7/16	0.437	1.125	7.307	0.7055	0.7055	3544	82%

2"	2.000	1/2	0.500	1.000	8.010	0.7350	0.7350	3401	89%
2 1/4"	2.250	1/8	0.125	2.000	2.837	0.4718	0.4194	5961	8%
2 1/4"	2.250	3/16	0.188	1.875	4.140	0.6502	0.5780	4326	49%
2 1/4"	2.250	1/4	0.250	1.750	5.340	0.7963	0.7078	3532	82%
2 1/4"	2.250	5/16	0.312	1.625	6.475	0.9141	0.8126	3077	109%
2 1/4"	2.250	3/8	0.375	1.500	7.509	1.0078	0.8958	2791	131%
2 1/4"	2.250	7/16	0.437	1.375	8.476	1.0807	0.9606	2603	147%
2 1/4"	2.250	1/2	0.500	1.250	9.345	1.1362	1.0099	2475	160%
2 3/8"	2.375	1/8	0.125	2.125	3.004	0.5599	0.4715	5303	21%
2 3/8"	2.375	3/16	0.188	2.000	4.391	0.7750	0.6526	3831	68%
2 3/8"	2.375	1/4	0.250	1.875	5.674	0.9534	0.8029	3114	107%
2 3/8"	2.375	5/16	0.312	1.750	6.893	1.0994	0.9259	2700	138%
2 3/8"	2.375	3/8	0.375	1.625	8.010	1.2173	1.0251	2439	164%
2 3/8"	2.375	7/16	0.437	1.500	9.061	1.3110	1.1040	2265	184%
2 3/8"	2.375	1/2	0.500	1.375	10.010	1.3839	1.1654	2145	200%
2 1/2"	2.500	1/8	0.125	2.250	3.171	0.6582	0.5266	4747	36%
2 1/2"	2.500	3/16	0.188	2.125	4.642	0.9149	0.7319	3416	88%
2 1/2"	2.500	1/4	0.250	2.000	6.008	1.1301	0.9041	2765	133%
2 1/2"	2.500	5/16	0.312	1.875	7.311	1.3084	1.0468	2388	169%
2 1/2"	2.500	3/8	0.375	1.750	8.511	1.4545	1.1636	2149	200%
2 1/2"	2.500	7/16	0.437	1.625	9.637	1.5724	1.2579	1987	224%
2 1/2"	2.500	1/2	0.500	1.500	10.680	1.6660	1.3328	1876	243%
2 5/8"	2.625	1/8	0.125	2.375	3.338	0.7675	0.5848	4275	51%
2 5/8"	2.625	3/16	0.188	2.250	4.893	1.0707	0.8158	3064	110%
2 5/8"	2.625	1/4	0.250	2.125	6.341	1.3274	1.0114	2472	160%
2 5/8"	2.625	5/16	0.312	2.000	7.729	1.5426	1.1753	2127	203%
2 5/8"	2.625	3/8	0.375	1.875	9.011	1.7209	1.3112	1907	237%
2 5/8"	2.625	7/16	0.437	1.750	10.220	1.8670	1.4225	1758	266%
2 5/8"	2.625	1/2	0.500	1.625	11.350	1.9849	1.5123	1653	289%
2 3/4"	2.750	1/8	0.125	2.500	3.504	0.8883	0.6460	3870	66%
2 3/4"	2.750	3/16	0.188	2.375	5.144	1.2434	0.9043	2765	133%
2 3/4"	2.750	1/4	0.250	2.250	6.675	1.5466	1.1248	2223	190%
2 3/4"	2.750	5/16	0.312	2.125	8.147	1.8032	1.3114	1906	238%
2 3/4"	2.750	3/8	0.375	2.000	9.512	2.0184	1.4679	1703	278%
2 3/4"	2.750	7/16	0.437	1.875	10.820	2.1968	1.5976	1565	311%
2 3/4"	2.750	1/2	0.500	1.750	12.020	2.3428	1.7039	1467	339%

\* Calculated as the stress developed in a 48" long beam, supported at both ends and evenly loaded in the center.

\*\* Percent difference between the stress in this tube and the stress in an arbitrary standard tube of 1.75" x 1/4".

## Joint Selection



A seleção das juntas numa suspensão com links é tão importante quanto a seleção do tubo.

Na seleção de uma junta, a uma serie de fatores a observar:

- Custo: o custo de juntas caras pode aumentar muito rápido, principalmente se o projeto for de uma 4link dianteira e traseira, que utiliza 16 juntas.
- Ajustabilidade: se você precisar de links com comprimento ajustável, vai ter que achar uma junta que possibilite isso.
- Resistência: você deve casar a resistência do tubo com a da junta. É inútil utilizar um tubo 4350 2 x 1/2" e uma heim joint barata.
- Tamanho: assim como a resistência aumenta, o tamanho também, certifique-se que os seus links terão espaço adequado para a correta colocação das juntas.
- Manutenção: danos e desgaste estão sempre presentes, uma boa junta deve poder ser reparada sem que seja necessário refazer o link inteiro.
- Lubrificação: Este é um debate eterno entre opções pessoais. Dependendo do seu uso ou preferência escolha a sua, mas esteja certo de que a junta "selada" pode ser desmontada em caso de manutenção.
- Tamanho do furo do parafuso: algo que você necessita considerar, especialmente antes de fabricar os suportes, as junções as mais fortes usam um furo de parafuso muito grande.
- Capacidade de suportar desalinhamentos – certifique-se que a junção que você optou, trabalhará com seu projeto de suspensão sem causar o travamento excessivo que limitará o desempenho da suspensão e causará desgaste e danos excessivos aos componentes. Considere se a junção oferece espaçadores para aumentar a capacidade dos movimentos.



Poly Performance Uniball



Large RE bearing



Evolution Heim Joint

	RE (large) Bearing	Poly Performance	Evolution
<b>Body Material</b>	DOM	DOM	4140
<b>Bearing Material</b>	Chrome-plated steel	Ball – 440C heat treated stainless steel Race - 17-4 PH heat treated stainless steel	Stainless Steel
<b>Body diameter (D)</b>	2-5/8"	2-5/8"	3.0"
<b>Body Width (W)</b>	1.875"	1.750"	1.625"
<b>Bearing width (B)</b>	2.625"	1.375"	1.750"
<b>Spacer width (S)</b>	built in	2 x 0.815"	2 x 0.50"
<b>Total mounted width (M)</b>	2.625"	3.000"	2.750"
<b>Bolt hole (H)</b>	9/16"	3/4"	3/4"
<b>Shank thread</b>	n/a	n/a	1.250 - 12 UNF
<b>Shank length</b>	n/a	n/a	3.0"
<b>Tubing Size</b>	Up to 2" OD	Up to 2" OD	1.750" ID
<b>Misalignment</b>	23°	32°	28°
<b>Approx. Price</b>	\$40 US	\$107 US	\$80 US (~\$115 US with spacers, tube insert, and

			jam nut.)
<b>Features</b>	UHMW bearing cups, hardened, chrome-plated ball, adjustable preload, greasable,	All metal, PTFE lined, self-lubricating bearing, non-greasable, no preload adjustment, no special tool required	Stainless steel pre-load ring with locking screw, grease nipple, composite bearing cups. Available in left and right hand thread. Left & right hand jam nuts and tubing inserts available.

Para um artigo detalhado sobre juntas veja o artigo do autor em : [www.pirate4x4.com/tech/billavista/PR-Joints/index.html](http://www.pirate4x4.com/tech/billavista/PR-Joints/index.html)

### Características de projeto

Como mencionado previamente, eu sou um defensor dos links retos simples. Entretanto, você pode preferir um desenho mais altamente elaborado para seus links. Duas variações comuns são 1) deslocar a montagem para a junção e 2) links que são pré-curvados para a liberação de espaço. Se você decidir projetar os links com tais características, há uma série de “contratempos” a prestar atenção. . Se você se decidir ganhar um afastamento extra, soldando o link mais para o alto da junção do que ao centro, esteja ciente que você terá que ajustar conformemente o entalhe em seu tubo e que você pode ter que reduzir o tamanho máximo possível no DE do tubo. Naturalmente, se você usar uma junção ajustável isto não será uma opção. Eu não sou um amante dos links curvos porque para não se perder resistência com a dobra, deve-se fazer um braço de reforço, e normalmente esse braço vai tomar quase todo o espaço liberado com a dobra. Um link curvado desloca o neutral axis do gravity axis (linha reta entre os finais do link) para o centro de curvatura (o lado côncavo da curva). Este deslocamento na posição do neutral axis causa um aumento do stress no lado côncavo do link - tanto quanto 3 a 5 vezes o stress em uma ligação reta. O que isso significa na pratica? Significa que dependendo de como é a curvatura do link, um link dobrado pode requerer um tubo de 2 x 3/4” e 1/2” de parede, pesando 12lbs por pé, para se ter uma resistência equivalente a um tubo de 1 x 3/4” por 1/4 de parede que pesa somente 4 lbs por pé se for em linha reta. Em outras palavras, quase três vezes mais pesados e quase o dobro do DE.

### Construindo os Links

O tipo o mais simples de link a construir é um que usa, em ambas as extremidades, suportes de junções embutidos e soldados. Neste caso, você necessita somente cortar o tubo no comprimento, para introduzir e para soldar os adaptadores, rosquear as junções pronto. Ao medir o tubo, você, naturalmente, terá que subtrair o comprimento do adaptador da junta e da junta, tomando como referencia o furo do parafuso. Tome cuidado para só contar o comprimento do suporte que fica pra fora do tubo. Eu normalmente meço a parte embutida do suporte, e então subtraio as linhas de rosca não disponíveis para ajuste. Isto é igual ao comprimento do número mínimo das linhas acopladas (calculadas como o comprimento das linhas internas dos adaptadores, mais 3-4 linhas) e ao comprimento das linhas para uso pela porca de trava. O resultado é o numero de linhas disponíveis para o ajuste, que eu divido então por dois, usando a figura resultante para o cálculo do comprimento do link - este permite que eu instale o link no meio de sua escala ajustável de modo que eu possa mais tarde o fazê-lo mais curto ou mais comprido como for necessário. No extremo oposto da escala há uma ligação fixa com ambas as junções soldadas diretamente ao tubo. Esta configuração tem a vantagem da força e da simplicidade, mas requer uma medição extremamente cuidadosa e exata e uma tripla checagem porque não há nenhuma maneira de ajustar os comprimentos após a construção. Os comprimentos mal combinados ou incorretos do link afetarão a geometria da direção, o desempenho da suspensão, e os ângulos do pinhão – assim, um grande cuidado é requerido.



Figure 1 – Usando um medidor de nível para marcar a linha de centro do tubo.

A outra parte complicada de fazer um link fixo com as junções soldadas em ambas as extremidades é que você tem que colocar ambas as junções exatamente a  $90^\circ$  do tubo, e ambas no mesmo plano. Se não, você comerá uma boa parte da capacidade das juntas em absorver desalinhamentos já na instalação do link, ou pior, não vai conseguir colocá-los por inteiro. . A figura 1 ilustra o método que eu usei para marcar a linha central do tubo, para meus links dianteiros inferiores fixos. Primeiro fixando o link em uma morsa e utilizando um nível para assegurar que ele esta totalmente na vertical. Então utilizo um prumo para localizar e marcar a linha de centro. Usar esta linha como referencia deve permitir que você entalhe o tubo corretamente, deixando ambas as junções alinhadas e paralelas. Entalhar o tubo é o desafio final antes de soldar. Há três métodos básicos para entalhar um tubo: com uma fresa, com uma poli corte, e com um molde. A fresadora seria a maneira mais obvia de se fazer os entalhes, mas provavelmente vai ser complicado encontrar uma que faça entalhes em um tudo de 2" por  $\frac{1}{2}$ " de parede, se você for usar um equipamento com broca ou fresa, cuidado para não se machucar com uma eventual travada durante o corte. Com um pouco de paciência e pratica, você pode fazer excelentes entalhes utilizando uma poli corte comum, O primeiro passo é marcar a linha de centro dos dois lados do tubo, a exatos  $180^\circ$ , então você deve determinar os ângulos em que serão feitos os entalhes, e regular a morsa da sua máquina. Coloque o tubo no suporte, de modo que o disco de corte, somente toque a margem externa na linha de centro fig.2. Faça o corte fig3. O tubo deve parecer com o da figura 4. então gire o tubo na serra em  $180^\circ$  e novamente prepare o corte, deixando o disco somente tocar a linha de centro pelo lado externo, e corte. Você agora tem duas pequenas lascas de tubo, e um tubo com um encaixe para colocar a sua junta fig. 6 & 8. para se fazer cortes precisos e com qualidade, você deverá utilizar uma poli corte decente, com um bom disco abrasivo e provida de uma morsa com capacidade de corte em esquadrias. No Brasil temos boas máquinas para corte de esquadrias, como Bosh, DeWalt e Makita que atendem, bem a essa solicitação. O segredo para ser bem sucedido nesse método é o quão bem você marcou e realizou os cortes. A figura 9 ilustra o ângulo escolhido e a tabela 3 traz algumas medidas de ângulos para diferentes encaixes e medidas de tubos.

Geralmente, quanto maior o ângulo, mais fundo e mais pontudo é o encaixe. A figura 6 mostra um encaixe à 30° e a 7 um à 45°. Como a maioria das máquinas pode ter uma pequena variação no corte, para fazer encaixes perfeitos você pode ter a mão uma esmerilhadeira angular de 4 1/2" e um disco flap para fazer os acabamentos. Fig. 8. Nota, os valores da tabela 3 são apenas para encaixes de tubos a 90°. Se você pretende fazer encaixes com outras angulações, como para deslocar uma junta, ou fazer um braço de reforço para uma dobra, você deve ajustar seus cortes como segue: pegue o ângulo ao qual você deseja unir os tubos, então com o valor de entalhe original, você adiciona o novo valor a um dos cortes e o subtrai do oposto. Por exemplo, se eu quero unir dois canos de 2"DE, o corte original para 90° seria de 30°, mas eu quero unir os tubos em 15°. Eu devo adicionar esses 15° a um dos meus cortes iniciais de 30°, e subtrair do corte oposto, então devo executar um corte de 45° e um de 15°. A única limitação para cortar ângulos numa poli corte, é a da própria máquina, que normalmente só faz cortes de até 45°. Nunca tente fazer cortes segurando o tubo com as mãos. Não importa o quão forte você acha que existe uma chance muito boa de a lamina travar durante o corte, arrancar o tubo de suas mãos e fazê-lo sair voando pela oficina – nem me pergunte como eu sei disso. E por fim, em caso de dúvidas quanto ao ângulo de corte, faça-o um pouco menor, e termine o assentamento utilizando uma esmerilhadeira manual.

**Table 3 - Angulo de corte para varios tamanhos de tubo.**

**(Dados fornecidos por Marc "Tigweld" Googer)**

OD of tube being notched (in)	OD of tube joined to (in)	Initial cut angle (degrees)
2	2	30
1.75	1.75	28
1.5	1.5	26
1.25	1.25	22.5
1	1	20
1.75	2	25
1.75	1.25	45
1.25	1.75	20
1	2	12



Figure 2 – alinhando o primeiro corte



Figure 3 – primeiro corte em progresso...



Figure 4 – Primeiro corte completo.



Figure 5 – Começando o segundo corte...



Figure 6 – cortes completos á 30°



Figure 7 – Cortes á 45°



Fig 8 – Teste de encaixe do corte



Fig 9 – Ajuste do ângulo de corte da serra.

O terceiro método para entalhar um tubo é usar um programa de computador que permita que você incorpore as dimensões do tubo e então calcule e imprima um molde para seu entalhe. Você pode então cortar este molde, colá-lo no tubo, e usar diversos métodos para cortar ao longo das linhas do entalhe (uma poli corte, uma esmerilhadeira angular, a plasma, etc.) Dependendo da aspereza que ficar ao final do corte, você faz o acabamento para um ajuste perfeito.

Um desses programas que está disponível na Internet é o **Winmiter**. É um programa de shareware escrito originalmente para entusiastas da bicicleta. Aceita entradas de: diâmetros grandes de tubo, diâmetros pequenos de tubo, ângulo da junção, e linha central deslocada, em unidades métricas ou imperiais. Então processará e indicará e/ou imprimirá um molde simples. Eu usei este método entalhando os tubos de 2"x 3/8" para meus links inferiores dianteiros e eles trabalharam razoavelmente bem.

A fig.10 mostra o molde cortado e gravado ao tubo, pronto para ser seguido. Depois que cortado o entalhe com um cortador de plasma eu usei então uma esmerilhadeira para limpá-lo, pausando periodicamente para verificar o ajuste fig.11.



Fig 10 – Padrão gerado pelo Winmiter e colado com fita adesiva sobre o tubo.



Figure 11 – Tubo de 2” perfeitamente encaixado.

A etapa final em fixar seus links às junções é soldar. As inserções ou buchas vêm com um chanfro generoso (12) que permite uma solda boa e forte (13). Soldando um tubo diretamente ao corpo de uma junção, certifique-se que esta esteja limpa e possuam um bom encaixe. A fig.11 mostra um tubo de 2” encaixado a uma junção rolamentada e revelam que ainda é necessário um pouco de trabalho para um melhor ajuste. A paciência é a chave porque um conjunto apropriadamente apertado assegurará uma solda forte e uns links finalmente fortes.



Figure 12 – Evolution threaded tube insert in 1.75" ID tube



Figure 13 – welded tube insert

Figuras 14, 15, e 16 oferecem um olhar final em alguns dos meus links terminados, construídos usando os produtos e os procedimentos descritos neste artigo. Você pode experimentar o sucesso em seus próprios projetos. Boa sorte!



Figure 14 – Links frontais de comprimento fixo usando RE bearings com 2" x 3/8" DOM



Figure 15 – Link completo com Evolution Joint mostrado proximo á um padrão de 3/4" Heim joint para uma visão em escala.



Figure 16 – Link frontal ajustavel usando Evolution Joints e 2.25 X 1/4" DOM

Referencias:

Gren, Robert E., Oberg, E., Jones, F.D., Horton, H.L., Ryffel, H. H. (Editors). Machinery's Handbook, 24th Edition, 1992, (Industrial Press, Inc)



**Fontes:**

Evolution Joints:  
**Evolution Machining & Fabrication Inc.**

#1 - 4115 64th Ave. S.E..  
Calgary, Alberta T2C 2C8  
Phone: (403) 236-3545

<http://www.evolutionmachine.com>

RE Bearings & Poly Performance

Uniballs:

**Poly Performance Offroad Products**

234 Tank Farm rd, Unit L & M  
San Luis Obispo, CA 93401  
Phone: (805) 783-2060

[sales@polyperformance.com](mailto:sales@polyperformance.com)

<http://www.polyperformance.com/>

## Addendum:

### What do the numbers mean?

The four digit number you often see quoted in reference to a particular type of steel (e.g. 1020 DOM) is a standard four digit numbering system developed by the American Iron and Steel Institute (AISI) in cooperation between with Society of Automotive Engineers (SAE). The first two digits of the designation are the "classification" of the steel. Mild (carbon) steels all belong to one of four classifications, only two of which are of interest to us - the 10xx and the 15xx.

The four classifications of carbon steel are:

10xx—nonresulfurized carbon steel. Basic structural "low-carbon" or "mild" steel.

11xx—resulfurized carbon steel. Free machining steels, inherently brittle.

12xx—resulfurized and rephosphorized carbon steel.

15xx—nonresulfurized, high-manganese carbon steel. Basic carbon steel used for low-cost forgings.

The first two digits of an alloy steel's designation indicate the alloying elements as follows:

Designation	Alloying Elements
13xx	Manganese
40xx	Molybdenum
41xx	Chromium & Molybdenum
43xx	Nickel, Chromium & Molybdenum
44xx	Molybdenum
46xx	Nickel & Molybdenum
61xx	Chromium & Vanadium
86xx	Nickel, Chromium & Molybdenum
92xx	Silicon

For both mild and alloy steels, the last two digits of the standard four digit designator indicate the approximate carbon content of the steel in tenths of a percent. For example, SAE 1020 contains approximately 0.20% carbon. The higher the carbon content the higher the ultimate tensile strength of the steel — and the lower the ductility.

Sometimes a suffix H is attached to a AISI/SAE number to indicate that the steel has been produced to prescribed hardenability limits. For example 1541H is a commonly used carbon steel in the manufacture of axle shafts.

The four-digit designator not only helps us to precisely identify the steel in question (so that we can buy and use the right stuff), but also tells us quite a bit about it at a glance. For example, I know that 4340 is a steel alloyed with Nickel, Chromium and Molybdenum; and that it has a carbon content of approximately 0.40%.

If I want to know more, I can either research the exact properties of the steel I'm

considering, or I can get a general idea by using the number and referring to a table of common alloying elements and their effects, such as:

<b>Element</b>	<b>Effect</b>
Carbon	Increases hardenability and strength
Chromium	Increases corrosion resistance, hardenability and wear resistance
Manganese	Increases hardenability and counteracts brittleness from sulphur
Molybdenum	Deepens hardening, raises creep strength and hot-hardness, enhances corrosion resistance and increases wear resistance
Nickel	Increases strength and toughness
Silicon	Deoxidizes, helps electrical and magnetic properties, improves hardness and oxidation resistance
Vanadium	Increases hardenability

#### What is an "Alloy Steel"?

Alloy steels are steels that have had finite and precise amounts of alloying elements added to them during their manufacture. Alloying Elements are chemical elements added for improving the properties of the finished materials, such as nickel, chromium, and molybdenum. Small, precise changes in the exact chemistry of a steel can change its mechanical properties quite drastically. Generally, alloying elements are added to steel to maximize some particular mechanical property(ies). Of course, nothing in life is free, and there is always a price to pay. The more alloyed a steel is, the narrower it's appropriate use, as it becomes more and more specialized (narrow in focus). There is also a trade off in the reduction of other properties: as hardness and strength go up due to alloying with chromium and molybdenum - ease of welding and ductility go down, and of course cost goes up - in some cases WAY up.

Note that the hugely popular designation "Chrom-moly" is a reference to the fact that the steel in question has major alloying elements of Chromium and Molybdenum. 41xx and 43xx alloy steels can and frequently are both referred to as "Chrom-Moly Steel", though obviously the 43xx also has significant Nickel added.

## The Definitions

When researching, designing, or discussing any fabrication project that uses steel, you may find the following definitions of the properties of various steels useful.

**Annealing** - Applies normally to softening by changing the microstructure and is a term used to describe the heating and cooling cycle of metals in the solid state. The term annealing usually implies relatively slow cooling in carbon and alloy steels. The more important purposes for which steel is annealed are as follows: To remove stresses; to induce softness; to alter ductility, toughness, or electric, magnetic or other physical and mechanical properties; to change the crystalline structure; and to produce a definite microstructure.

**Plastic Deformation** - Deformation of a material that will remain permanent after removal of the load which caused it.

Quenching & tempering - procedure consisting of heating the material to the proper temperature, holding at that temperature for a sufficient time to effect the desired change in crystalline structure, and quenching in a suitable medium - water, oil or air depending on the chemical composition. After quenching, the material is reheated to a predetermined temperature below the critical range and then cooled under suitable temperatures (tempering).

**Stiffness** – the ability to resist deformation under load.

**Strength** - the ability to resist an external force or load, without deforming, breaking, or rupturing. Technically we say a material's strength is the greatest stress it can endure without rupturing. There are many specific kinds of strength, from tensile, compressive, and shear to complicated combinations such as torsional and bending.

**Stress** - a force or load applied, divided by how big the part is (i.e. force per unit of cross sectional area) measured in pounds per square inch, or PSI.

**Strain** - a change in shape or dimension in response to a stress, usually expressed in percent elongation.

**Toughness** – The ability of a metal to absorb energy and deform plastically before fracturing. It is usually measured by the energy absorbed in an impact test.

**Hardness** – is the property of resisting penetration. Normally, the hardness of steel varies in direct proportion to its strength – the harder it is, the stronger it is, and vice-versa.

**Brittleness** – is the tendency of a material to fracture without changing shape. Hardness and brittleness are closely related. The harder (and therefore stronger) a metal is, the more brittle it is likely to be. Materials that are too brittle will have very poor shock load resistance.

**Malleability** – is the opposite of brittleness. The more malleable a material, the more readily it can be bent or otherwise permanently distorted. As hardness was closely related to strength, so then is malleability. Generally, the more malleable a metal, the weaker it is.

**Ductility** – much like malleability, ductility is the ability of the material to be drawn (stretched out) into thin sections without breaking. The harder and stronger a metal is, the less ductile, and vice versa.

**Yield Strength** - The point at which a material exhibits a strain increase without increase in stress. This is the load at which a material has exceeded its elastic limit and becomes permanently deformed. Stress corresponding to some fixed permanent deformation such as .1 or .2% offset from the modulus or elastic slope.