

КОМБИНИРОВАННАЯ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ С БЕЙНИТНОЙ СТРУКТУРОЙ*

*Азербайджанский технический университет,
Национальная металлургическая академия Украины*

Рекомендована комбинированная деформационно-термическая обработка бейнита с применением процесса высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) Установлено, что для больших деформаций при гидропрессовании проката с целью получения упрочненных профилей в режиме ВТМО сталь с бейнитной структурой нагревается до 1000-1050⁰С, подвергаясь деформации, уплотняется до 30% и охлаждается в воде до 450 – 500⁰С. Выявлено, что применением предложенной методики в стали микротрещины не образуются и заметно улучшаются ее механические свойства..

Рекомендовано комбіновану деформаційно-термічну обробку бейніта із застосуванням процесу високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО) Встановлено, що для великих деформацій при гідропресуванні прокату з метою одержання зміцнених профілів у режимі ВТМО сталь із бейнітною структурою нагрівається до 1000-1050⁰С, піддаючись деформації, ущільнюється до 30% і прохолоджується у воді до 450 – 500⁰С. Виявлено, що із застосуванням запропонованої методики в сталі мікротріщини не утворюються й помітно поліпшуються її механічні властивості.

High temperature heat - mechanical bainit structure is had temperature as 1000-10500C in the regime of treatment, it is cooled by water as 450-5000C press till 30% subject to deformation. The cooling as drake is continued anger in the weather condition. Mikroscratch and inside tensions does not form with offered method in the process of treatment in the steel and mechanical properties of the steel improve.

В современных условиях весьма актуальное значение приобретает проблема повышения прочности изготавливаемых изделий с применением различных прогрессивных технологий и методов, что, во многом связано с растущими темпами развития металлургической и машиностроительной промышленности.

Известно, что температура, скорость и величина горячей пластической деформации стали обуславливают структуру аустенита, а условия последующего охлаждения – фазовый состав и строение продуктов превращения деформированного аустенита [1]. Для достижения требуемого комплекса механических характеристик, структуру стали окончательно формируют путем дополнительной холодной деформации и отпуска (старения), в частности, используя процесс деформационного старения мартенсита (ДСМ) [2]. Благодаря такой комбинированной деформационно-термической обработке могут быть получены наиболее высокие показатели

* РАБОТА ПОСВЯЩЕНА ПАМ'ЯТИ В.М. ЯНКОВСЬКОГО, АВТОРА І ОСНОВАТЕЛЯ СИСТЕМИ ВТМО ТРУБ
© ГАМИДОВ Ф.ДЖ., МАМЕДОВ З.Г., РАХМАНОВ С.Р., 2009

прочности, пластичности и ударной вязкости, если горячая деформация выполняется в условиях высоких гидростатических давлений в режиме высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО), а холодная деформация – по режиму ДСМ [3,4].

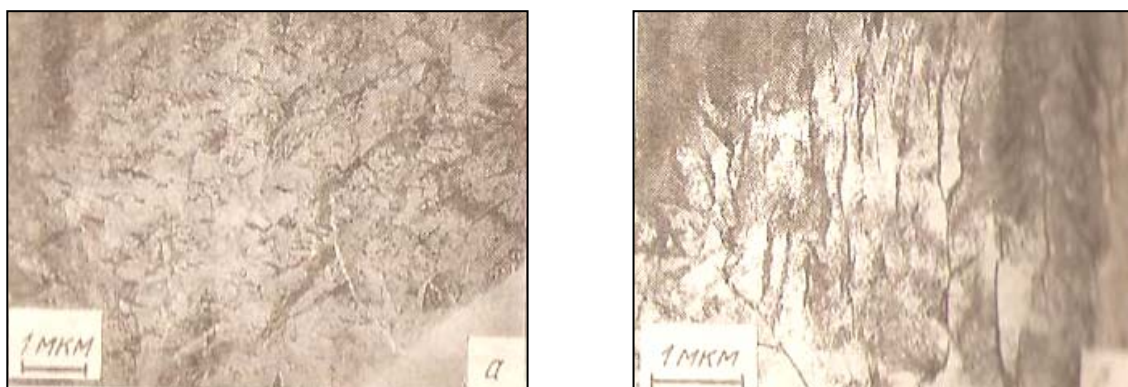
Сочетание горячей прокатки в режиме ВТМО с получением структуры мартенсита и последующего прессования в режиме ДСМ успешно опробовано в промышленных условиях на трубопрокатном заводе ОАО «Азербору» при производстве труб 146×11 мм. Для прессования применяется гидравлический пресс вертикального или горизонтального типа [4] с максимальным давлением рабочей среды (масло И-20) до 15000 МПа. Отметим, что пресс впервые оснащен специальным тянущим устройством для создания переднего натяжения усилием до 10 кН. Оно необходимо для стабилизации скорости деформации (прессования) на всех стадиях процесса: в начальный период – для уменьшения пика стартового давления, в течение всего процесса – для предотвращения замедлений, остановок или, наоборот, ускорений выдавливания деформируемого прутка, в завершающий период – для исключения неуправляемого «выстрела» передеформированного прутка.

Оптимальной степенью холодной деформации прутков с прессованием в режиме ДСМ для среднеуглеродистых сталей типа ХГС, ХНМ и др. считается 5 – 7%. Чтобы увеличить обжатие прутков сверх 7% необходимо применять прессование с противодавлением согласно [3], что неоправданно усложняет структуру оборудования и технологию производства. Применение процессов ВТМО с закалкой на мартенсит ограничивает возможности дополнительного формоизменения при комнатной температуре, т.е. гибкой, холодной калибровкой или штамповкой, резанием и т.п. В связи с этим опробовали комбинированную деформационно-термическую обработку (ДТО), сочетающую горячую прокатку в режиме ВТМО на структуру бейнита [6] и последующее его деформационное старение (ДСБ) с прессованием [7] или волочением (для сравнения). В экспериментальных исследованиях использовали сталь 35ГС мартеновской выплавки, содержащую (%): 0,39 С; 1,17 Мн; 0,61 Si; 0,032 S; 0,021 Р.

Трубную заготовку диаметром 160 мм прокатывали на автоматическом стане трубопрокатного агрегата ТПА-250-2 по следующему режиму: нагрев в кольцевой печи до 1050⁰С, прокатка за два прохода в калибрах овал – круг до диаметра 146,1 мм (обжатие 30%) в интервале температур от 980 до 920⁰С, охлаждение в проточной воде в течение 6–7 с (примерно до 450–500⁰С) и затем на воздухе со скоростью 2–4⁰С. Для сравнения заготовки подвергали обычной прокатке в интервале температур 980–1000⁰С с охлаждением на воздухе.

После процедуры травления и нанесения графитовой смазки прутки подвергали холодной деформации на прессовой установке. При этом варьировали усилие натяжения (N) и давление рабочей жидкости (P), так что создавали условия либо чистого прессования (P_{\max} ; $N=0$), либо волочения ($P=0$, N_{\max}) для получения конечного диаметра прутка, равного 22 мм (обжатие около 20%). В качестве инструмента использовали матрицу из твердого сплава ВК-8 с входным конусом 25° и длиной цилиндрического пояса 5 мм. Рабочей жидкостью служило индустриальное масло И-20.

В металлографических и электронно-микроскопических исследованиях установлено, что после обычной горячей прокатки образуется пластинчатый перлит с размерами колоний 15-12 мкм, окаймленный сеткой свободного феррита [8]. В случае применения ВТМО – многослойная структура: в поверхностном слое толщиной до 7 мм- структура нижнего бейнита (рис.1, а) с некоторым количеством отпущенного мартенсита, в центре прутка – верхний бейнит (рис.1, б) с характерными выделениями карбидов по границам кристаллов α - фазы, а также незначительное количество нижнего бейнита и дисперсных образований перлита. В промежуточных слоях содержалась смесь нижнего и верхнего бейнита. Плотность дислокаций в кристаллах бейнита можно оценить как 10^9 см^{-2} . После деформационного старения структура стали характеризуется повышенной плотностью дислокаций до 10^{11} см^{-2} . Во многих участках наблюдается образование ячеистой субструктуры, а также более мелкие и разориентированные карбиды (рис. 2).



а)

б)

Рисунок 1 – Структура стали 35ГС после ВТМО: бейнитная фаза в поверхностном слое (а) и в сердцевине трубы (б)× 500



Рисунок 2 – Структура стали 35ГС после деформационного старения бейнита $\times 500$

Механические свойства стали после обычной горячей прокатки стали 35ГС, ВТМО и ДСБ приведены в таблице. На растяжение испытывали образцы с диаметром рабочей части 3 мм и на ударный изгиб образцы сечением 5×10 мм с радиусом надреза 1 мм (КСУ). Образцы вырезали в продольном направлении на расстоянии примерно 7 – 8 мм от центра прутка. Твердость определяли на глубине 1,5 – 2 мм от поверхности. По каждому варианту обработки испытывали по четыре образца. Отклонения от приведенных средних значений не превышали $\pm 5\%$.

По сравнению с обычной горячей прокаткой (схема а) ВТМО (схема в) обеспечивает значительное увеличение твердости, прочности и ударной вязкости, а пластичность сохраняется, как у горячекатаного металла. Последующая холодная деформация и старение (ДСБ) в совокупности приводят к дополнительному упрочнению стали при некотором ухудшении ее пластичности и ударной вязкости. Особенно заметно снижается уровень ударной вязкости в случае холодной деформации волочением (схемы б и г). По мере роста гидростатического давления при прессовании наблюдается увеличение твердости, прочности и ударной вязкости. В случае частого прессования без переднего натяжения (таблица, схема 3) значения ударной вязкости максимальны и близки уровню значений, характерных для исходного состояния ВТМО. Однако такое прессование сопровождается неравномерной скоростью деформации и завершается «выстрелом» прутка из камеры высокого давления, ударом его об упор и значительным искривлением. Наиболее предпочтительным для стали 35ГС представляется режим ДСБ с применением прессования при давлении рабочей жидкости 3900 МПа и передним натяжением патрубка усилием 3 кН.

Таблица

Механические свойства стали 35ГС в зависимости от условий обработки

Схема обработки*	HRC	σ_s , Н/мм ²	$\sigma_{0.2}$, Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
а) Горячая прокатка	15	760	480	22	60	82
б) Горячая прокатка + волочение	32	970	880	10	45	32
в) ВТМО-Б	27	827	542	20	70	126
г) ВТМО-Б, ДСБ волочением (P=0, N=5 кН)	32	1200	1150	10	55	50
д) ВТМО-Б, ДСБ прессованием (P=1200МПа, N=3 кН)	33	1170	1120	10	51	63
е) ВТМО-Б, ДСБ прессованием (P=2400МПа, N=3кН)	34	1250	1200	11	56	90
ж) ВТМО-Б, ДСБ прессованием (P=3900МПа, N=3 кН)	36	1350	1270	10	52	96
з) ВТМО-Б, ДСБ прессованием (P=3900 МПа, N=0)	35	1290	1200	11	59	102

*После деформации прокатыванием или прессованием, отпуск (старение) в течение 2 ч при 250⁰С.

Для выяснения причин ухудшения ударной вязкости после ДСБ с применением волочения были выполнены рентгенографические исследования и соответствующие измерения плотности стали. Установлено, что после волочения ширины рентгеновской линии составляют 16-17 мкм, а плотность стали уменьшается от 7,825 – 7,829 г/см³ в исходном состоянии до 7,771-7,774 г/см³ после волочения. В случае деформации бейнита при прессовании плотность стали практически сохраняется на исходном уровне (7,811 – 7,829 г/см³), а ширина рентгеновской линии уменьшается до 14 – 15 мкм. Это свидетельствует о меньшем уровне внутренних напряжений, а, судя по большим значениям плотности, можно утверждать о меньшей вероятности образования микротрещин или каких – либо других внутренних повреждений.

Выводы

1. Для больших деформаций при прессовании проката с целью получения упрочненных профилей особо высокой точности рекомендована комбинированная деформационно-термическая обработка бейнита.

2. Предложено применение процесса ВТМО стали по режиму: нагрев до 1000 – 1050⁰С, прокатка в интервале температур 980 – 920⁰С с обжатием 30%, ускоренное охлаждение водой до 450 – 500⁰С и далее охлаждение на воздухе, в сочетании с деформационным старением бейнита путем прессования (давление до 4000 МПа, переднее натяжение до 3 кН, обжатие 20%) с последующим старением в течение 2 ч при 250⁰С.

3. Применением комбинированной обработки стали для производства трубы диаметром 146×10 мм из 35ГС достигается следующий комплекс механических характеристик: твердость 34 – 36 HRC; $\sigma_s = 1250 - 1350$ Н/мм²; $\sigma_{0,2} = 1200 - 1270$ Н/мм²; $\delta_5 = 10 - 11\%$; $\psi = 52 - 56$; KCU=90 –96 Дж/см².

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. М.: Металлургия, 1988. – 480 с.
2. Бащенко А.П., Гуревич Я.Б., Щербединский Г.В. Развитие современных методов создания особо высокопрочных сталей. //Прочность и пластичность металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1985. С. 4 – 7
3. Гуревич Я.Б., Поляков Е.В. Деформационно-термическое упрочнение сталей с использованием гидростатической обработки. //Влияние высоких давлений на вещество. Киев: Наукова думка, 1987, т.2. С. 134 – 137 с.
4. Гамидов Ф.Д. Особенности технологии изготовления высокопрочных бурильных труб с приварными замками. //Сталь, 2002, №4. С. 71 – 73
5. Уральский В.И., Плахотин В.С. Производство фасонных профилей методом гидропрессования. М.: Металлургия, 1978. – 167 с.
6. Бащенко А.П., Гуревич Я.Б., Давыдов В.В. и др. Упрочнение стали методом деформационного старения мартенсита и бейнита с применением гидропрессования. //Физические основы формирования физико-механических свойств сталей и сплавов. М., Металлургия, 1990. С. 69 – 73
7. Бащенко А.П., Баталов А.Г., Волосков А.Д. и др. Гидроэкструзия сталей со структурой бейнита. //Физика и техника высоких давлений. 1991. т.1., №4. С.68 – 70
8. Мамедов З.Г. Качественные стали и сплавы. Баку: Элм, 2006. – 474 с.