

ТЕРМОИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

В. В. Войцеховский, В. Л. Истомин, А. Д. Крючкова, О. А. Майков

(Новосибирск)

Способ термомеханического упрочнения сплавов получил широкое распространение; он опробован на многих классах сталей и всюду дал положительный эффект [1].

Увеличение предела прочности при сохранении удовлетворительных пластических свойств, по-видимому, связано с упрочнением аустенита при деформации и является следствием увеличения плотности дислокаций, сохраняющихся после закалки.

Все ранее применявшиеся схемы термомеханической обработки имели некоторые общие черты.

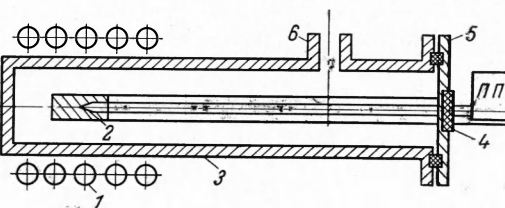
Пластическая деформация сталей производилась в основном статическими методами и имела ограниченный интервал скоростей деформирования [2], а иногда степени деформации. Так, при прокатке, волочении и штамповке максимально возможная скорость деформации равна 1 м/сек, а максимально возможная степень деформации за один рабочий цикл колеблется от 23 до 98%, а при выдавливании, свободной ковке, высокоскоростной штамповке — соответственно 50 м/сек и 98%.

Не учитывалось время от конца деформации до закалки (инкубационный период), хотя, как показано [3], изменение прочностных характеристик имеет сложную зависимость от времени выдержки после конца горячей деформации.

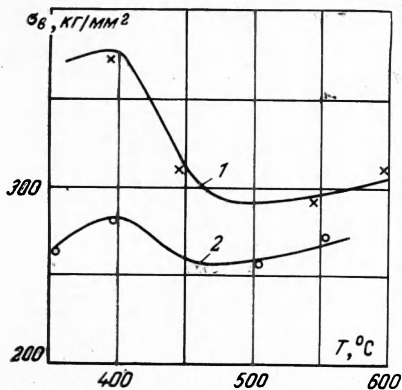
Уже в течение 3 сек наблюдаются резкое падение предела прочности и повышение пластичности и размерности зерен. Минимальное время выдержки удалось зафиксировать только в 0.3 сек.

Ниже приводятся некоторые результаты изучения влияния высокоскоростной объемной деформации, инкубационного периода, а также предельной чистоты исходных материалов на максимальные значения предела прочности на разрыв. Для опытов применялись три сорта стали (1), (2), (3) мартенситного класса, химсостав которых определялся наличием следующих компонент:

	C, %	Si, %	Ni, %	Cr, %
(1)	0.53	1.88	5.8	1.78
(2)	0.58	1.96	5.98	1.98
(3)	0.65	1.84	5.00	2.00



Фиг. 1



Фиг. 2

Выплавка сталей проводилась в печи МПВ-3 в тиглях из окиси циркония емкостью 0.6 кг под вакуумом 10 мм рт. ст. Плавки шихтовались из технически чистых и электролитических материалов.

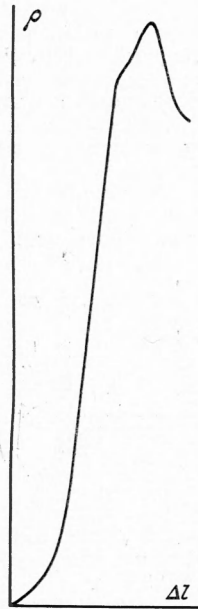
Кристаллизация слитков проходила также под вакуумом. Получаемые слитки проковывались на пруток. Во избежание окисления их нагрев под ковку производился в вакуумной трубе, схема которой представлена на фиг. 1, где 1 — нагреватель, 2 — образец, 3 — кожух, 4 — вакуумные уплотнения, 5 — крышка, 6 — отверстие для откачки. Из прокованных прутков вырезались заготовки под обработку.

Термоимпульсное упрочнение проводилось по следующей схеме. Образец нагревался выше точки $A_{с3}$ на 20—40° С в описанной вакуумной установке. При этой температуре образцы выдерживались 20—30 мин. После аустенизации производилось подстуживание 1.5—2 мин в промежуточной ванне до температуры деформации. Температура выбиралась в области высокой устойчивости метастабильного аустенита.

На специальном стенде при этой температуре осуществлялась импульсная деформация со скоростью 3—4 км/сек. После снятия нагрузки образец через $2-3 \cdot 10^{-4}$ сек попадал в закалочную среду. Время закалки зависит от толщины образца и в проведенных опытах составляло около 2—2.5 сек.

Таким образом, время деформации и инкубационного периода на много порядков меньше времени прохождения тепловой волны в образце при его закалке. Возможно, что эффект импульсного упрочнения частично пропадает из-за растянутого времени

закалки, которое должно быть соизмеримо с процессами деформации и транспортировки. Из упрочненных заготовок вырезались образцы в различных по текстуре направлениях и испытывались. Усредненные результаты испытаний в виде зависимости предела прочности на разрыв σ_b от температуры деформации для стали (1) показаны на фиг. 2, где кривая 1 соответствует вакуумному нагреву перед термоимпульсной обработкой, кривая 2 — безвакуумной обработке. Максимальное среднее значение $\sigma_b = 364 \text{ кг/мм}^2$ при температуре деформации 400°C .



Фиг. 3

Насколько важны металлургические факторы и чистота эксперимента, наглядно видно из графика на фиг. 2. Термоимпульсная обработка той же стали, но нагреваемой на воздухе, дает значения σ_b на 25—15% ниже, чем вакуумированная.

Максимальные значения предела прочности на разрыв удалось получить в $390\text{—}396 \text{ кг/мм}^2$ на сталях (1) и (2) при температуре деформации $400\text{—}420^\circ \text{C}$. Предел прочности этих сталей после классической термообработки на максимальную прочность равен 230 кг/мм^2 . Но результаты по σ_b нестабильны ввиду разной степени деформации по объему заготовки.

Характер диаграммы растяжения высокопрочной стали представлен на фиг. 3. Кривая почти не имеет площадки текучести, а предел текучести по абсолютным значениям близок к пределу прочности, а для некоторых образцов они равны.

Качественное определение деформационного упрочнения возможно по определению микротвердости. Наибольшее возрастание твердости достигается там, где деформация была наибольшей.

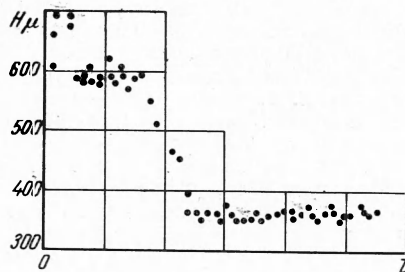
Зависимость распределения твердости поперечного сечения образца (от центра до наружного диаметра) представлена на фиг. 4 для образца из стали 30ХГСА; эта зависимость характеризуется резким падением напряжения около центра и наличием площадок твердости на ниспадающей части ветви.

Для стадии (1) с более высоким содержанием углерода (0.53%) площадок постоянной твердости не наблюдается (фиг. 5).

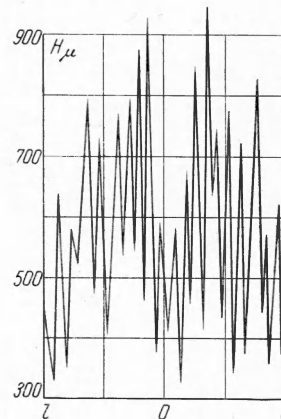
Ветвь распределения твердости имеет неравномерный характер, что, вероятно, объясняется деформацией по определенным плоскостям, а не по всему объему при обжатии заготовки.

При течении металла в этом случае упрочняется узкая область, прилегающая к плоскости скольжения, и фиксируется пиком твердости на кривой. В случае более пластичного металла область скольжения расширяется и характеризуется площадкой твердости.

Применение термоимпульсного способа позволяет резко сократить время деформации и выдерж-



Фиг. 4



Фиг. 5

ки до фиксации деформированного состояния, при которой происходит подавление явлений возврата и рекристаллизации. Интенсификация процессов упрочнения повышает предел прочности испытываемых сталей.

Поступила 6 XII 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордиенко А. К. Методы повышения прочности конструкционных сталей и сплавов. Сб. тр. Ин-та металлургии им. А. А. Байкова, 1963, вып. 13.
2. Дроздов Б. Я., Коган Л. И., Энтин Р. И. Влияние напряжений и деформации на кинетику промежуточного превращения аустенита. Физика металлов и металловедение, 1962, т. 13, № 5.
3. Стародубцев К. Ф., Борковский Ю. З., Гуль Ю. П. Влияние времени от конца деформации до закалки на структуру и свойства стали. Металловедение и термическая обработка металлов, 1963, № 4.