

It is shown that optimal schema of the steel 40X processing is slaughter and letting down. Processing by blast leads to complex improvement of mechanical characteristics.

В. Н. КОВАЛЕВСКИЙ, Г. М. СЕНЧЕНКО, БНТУ

УДК 621.74

ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ 40X С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА

При изготовлении биметаллических заготовок методом сварки взрывом одновременно со сваркой протекают процессы упрочнения, обусловленные прохождением через материалы ударных волн, а также их высокоскоростной пластической деформацией. Большими возможностями упрочнения обладает трубная схема сварки и упрочнения взрывом, при которой имеет место значительная пластическая деформация материала трубы при обжатии ее взрывом на оправку (рис. 1) от d_{10} до d_1 . Изменяя зазор между трубой и оправкой можно в широких пределах варьировать степень деформации трубы ϵ и, следовательно, управлять свойствами упрочняемых материалов. В сочетании с термической обработкой можно добиться упрочнения материала в 2,5–3,0 раза.

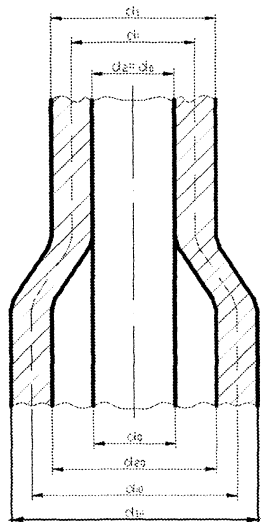


Рис. 1. Схема пластической деформации трубной заготовки взрывом

Влияние высокоскоростной пластической деформации на механические свойства и структуру стали 40X, обработанной взрывом в сочетании с предварительной и последующей термической обработкой, показано на рис. 2–10. При всех режимах обработки стали 40X можно выделить начальный участок графиков зависимости прочности и твердости от степени пластической деформации, при котором увеличение ϵ приводит к упрочнению материала. Этот участок можно аппроксимировать линейной зависимостью.

Для стали 40X, обработанной взрывом, после отжига при 830 °С в течение 0,5 ч (рис. 2) аппроксимацию можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_b &= (680 + 6\epsilon), & 0 < \epsilon < 20\%, \\ \text{HRC} &= 19 + 0,15\epsilon, & 0 < \epsilon < 20\%, \\ \sigma_b &= 800, & \epsilon > 20\%, \\ \text{HRC} &= 22, & \epsilon > 20\%. \end{aligned}$$

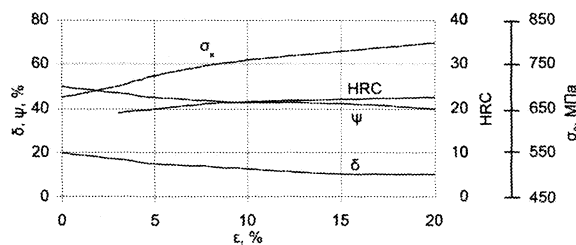


Рис. 2. Механические свойства стали 40X после отжига и обработки взрывом

При этом пластические свойства резко падают при увеличении ϵ до 10%, в дальнейшем они находятся практически на одном уровне: $\delta=10-12\%$, $\psi=40-43\%$. Микроструктура стали 40X показана на рис. 3.

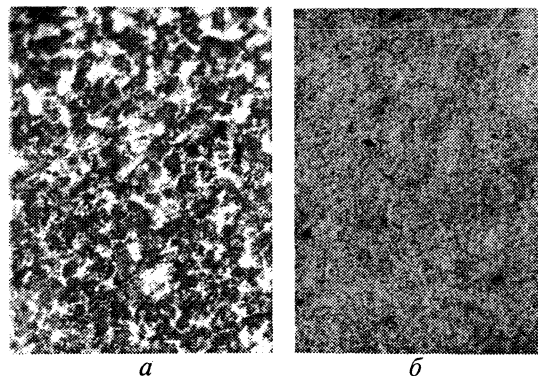


Рис. 3. Микроструктура стали 40X: а — отжиг 850 °С; б — отжиг 850 °С + упрочнение взрывом

Закалка стали 40X при 850 °С в воду и высокий отпуск в течение 1 ч перед обработкой взрывом приводит к существенному упрочнению стали (в 1,7–2,2 раза) и незначительному снижению пластических свойств. Механические свой-

ства стали 40X при отпуске 600 °С показаны на рис. 4, на основании которых можно записать:

$$\begin{aligned} \sigma_b &= 950 + 15\varepsilon, & 0 < \varepsilon < 18\%, \\ \sigma_b &= 1220 - 5(\varepsilon - 18), & \varepsilon > 18\%. \end{aligned}$$

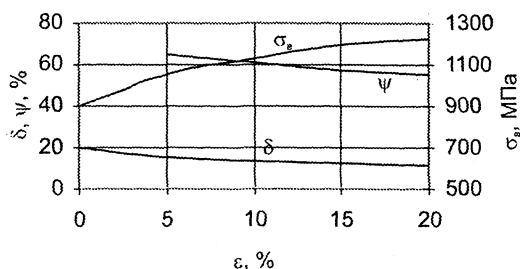


Рис. 4. Механические свойства стали 40X после закалки, отпуски 600 °С и обработки взрывом

Пластические свойства интенсивно падают до $\varepsilon=15\%$, после чего влияние ε заметно ослабевает и их значения колеблются в пределах $\delta=10-12\%$, $\psi=54-57\%$. Микроструктура стали 40X показана на рис. 5.

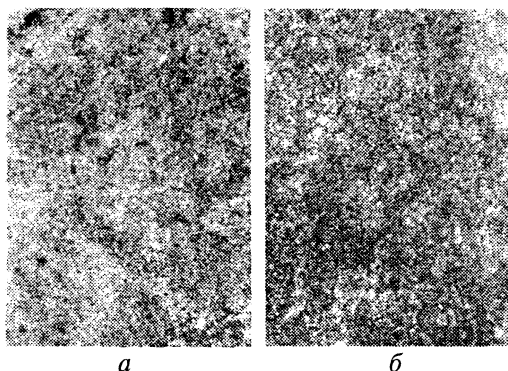


Рис. 5. Микроструктура стали 40X: а – закалка + отпуск 600 °С; б – закалка + отпуск 600 °С + упрочнение взрывом

Для стали 40X, отпущенной при $T=500$ °С, характерна большая стабильность механических свойств и их меньшая зависимость от ε (рис. 6):

$$\begin{aligned} \sigma_b &= (1180 + 6\varepsilon), & 0 < \varepsilon < 20\%, \\ \text{HRC} &= 35 + 0,4\varepsilon, & 0 < \varepsilon < 20\%, \\ \sigma_b &= 1300, & \varepsilon > 20, \\ \text{HRC} &= 43 - 0,1(\varepsilon - 20), & \varepsilon > 20, \\ \psi &= (56 - 0,1\varepsilon)\%, & 0 < \varepsilon < 40, \\ \delta &= (14 - 0,4\varepsilon)\%, & 0 < \varepsilon < 10\%, \\ \delta &= 10\%, & \varepsilon > 10. \end{aligned}$$

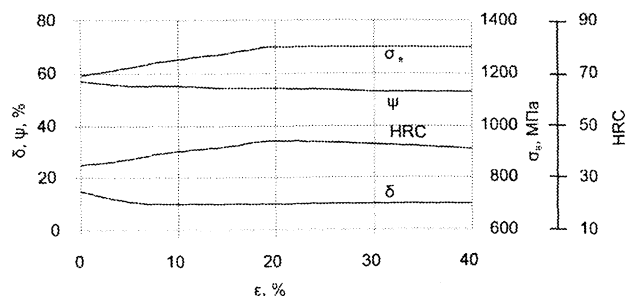


Рис. 6. Механические свойства стали 40X после закалки, отпуски 500 °С и обработки взрывом

Микроструктура стали 40X после закалки, отпуски 500 °С и обработки взрывом показана на рис. 7, б.

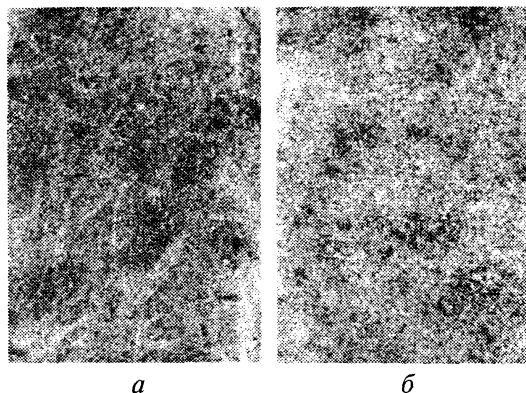


Рис. 7. Микроструктура стали 40X: а – закалка + отпуск 500 °С; б – закалка + отпуск 500 °С + упрочнение взрывом

Предварительная термообработка в виде закалки и низкого отпуски ($T=200$ °С, $\tau=1$ ч) приводит к сильному охрупчиванию стали 40X, самому большому эффекту упрочнения и к снижению величины критической степени деформации до $\varepsilon_k=15\%$, после которой материал разрушается (рис. 8):

$$\begin{aligned} \sigma_b &= (1840 + 35\varepsilon), & 0 < \varepsilon < 12\%, \\ \text{HRC} &= 53 + 0,5\varepsilon, & 0 < \varepsilon < 12\%, \\ \sigma_b &= [2260 - 20(\varepsilon - 12)], & 12 < \varepsilon < 15\%, \\ \text{HRC} &= [59 - 0,3(\varepsilon - 12)], & 12 < \varepsilon < 15\%. \end{aligned}$$

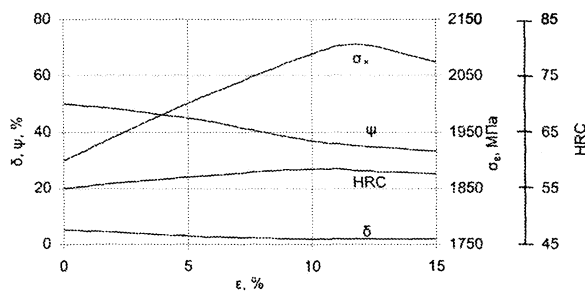


Рис. 8. Механические свойства стали 40X после закалки, отпуски 200 °С и обработки взрывом

Микроструктура стали 40X после закалки, отпуски 200 °С и обработки взрывом показана на рис. 9.

На рис.10 показана зависимость механических свойств обработанной по различным режимам стали 40X от температуры отпуски.

Взрывная обработка стали 40X перед термообработкой не приводит к ее упрочнению, но значительно (на 20–30%) повышает пласти-

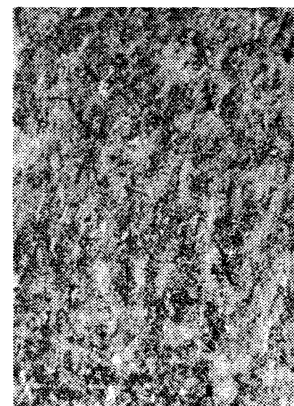


Рис. 9. Микроструктура стали 40X после закалки, отпуски 200 °С и упрочнения взрывом

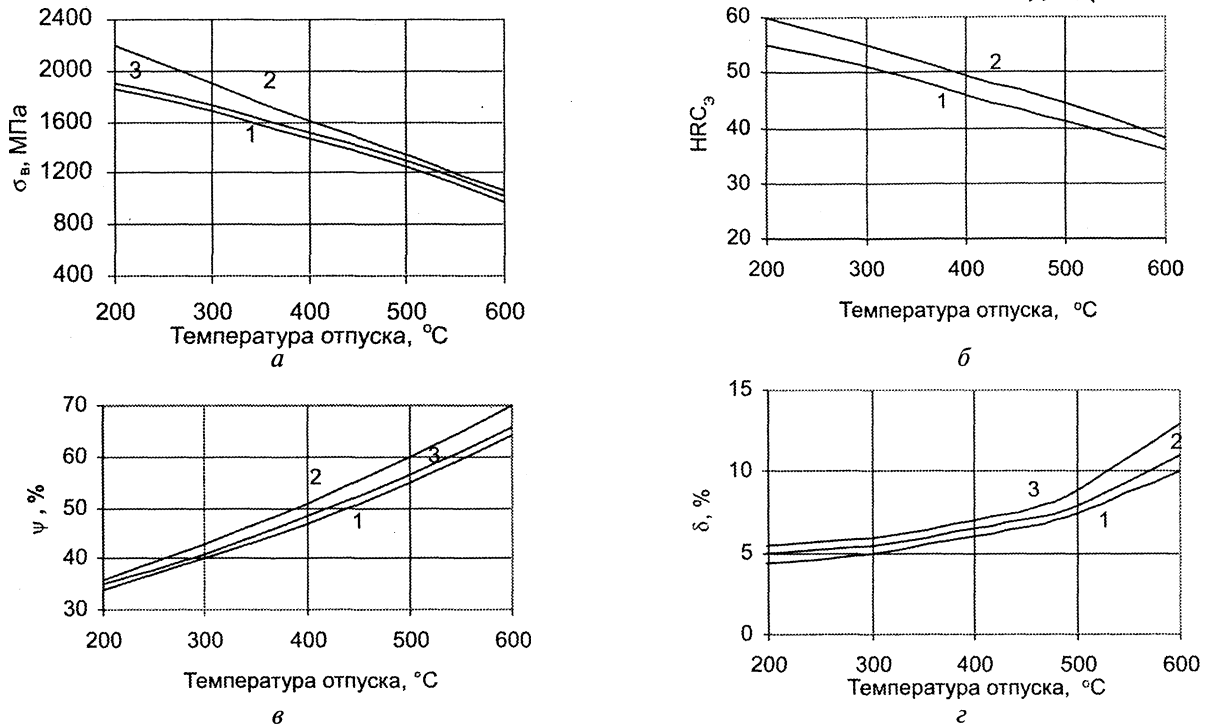


Рис. 10. Механические свойства стали 40X в зависимости от температуры отпуска: 1 – закалка + отпуск; 2 – закалка + отпуск + обработка взрывом; 3 – обработка взрывом + закалка + отпуск

ческие свойства. Это позволяет при условии обеспечения одинаковых значений относительного удлинения, например $\delta=10\%$, снизить температуру отпуска с 600 до 500 °C и тем самым повысить предел прочности от 920 до 1250 МПа.

В целом обработка взрывом приводит к комплексному улучшению механических свойств: повышению предела прочности, твердости и пластичности стали 40X. Это связано, во-первых, с насыщением структуры дефектами кристалличес-

кой решетки (увеличение предела прочности и твердости) и, во-вторых, с дроблением карбидных фаз и более равномерным их распределением по объему материала (повышение пластичности).

Оптимальной схемой обработки стали 40X является закалка и отпуск при 500 °C, 1 ч с последующей высокоскоростной пластической деформацией $\epsilon=10-25\%$. При этом достигаются следующие свойства: $\sigma_{\text{в}}=1250-1300$ МПа, 39–43 HRC, $\delta=10-11\%$, $\psi=54-56\%$.