

(где Y — интенсивность изнашивания материала; k_1, k_2, \dots, k_n — коэффициенты регрессионного уравнения; X_1, X_2, \dots, X_n — параметры энергетического спектра компонентов) изучались корреляционные связи между интенсивностью изнашивания материалов и характеристиками энергетического спектра их компонентов. Результаты исследований приведены в табл. 1. Данные свидетельствуют о наличии корреляционной связи между интенсивностью изнашивания материала и характеристиками энергетического спектра компонентов.

Таким образом, установленные корреляционные связи между рассматриваемыми параметрами открывают новые пути для прогнозирования и моделирования износостойкости материалов с помощью ЭВМ, а также делают возможным создание новых физических моделей изнашивания поверхности на основе представлений об электронном строении материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тадольднер Ю.А. Некоторые количественные зависимости изнашивания чистых металлов // Износ, усталость и коррозия металлов. Сер. А. — № 237. — Таллинн, 1960.
2. Самсонов Г.В., Данькин А.А. Аэроабразивная износостойкость и силы связи в металлах // Проблемы трения и изнашивания. — Киев, 1975. — Вып. 8. 3. Соболев В.Ф., Боровик Ф.Н., Чичко А.Н. Влияние электронной структуры компонентов сплава на образование интерметаллидов в алюминиевых сплавах // Вестн АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. — 1985. — № 2.

УДК 669.017:621.7.044.2

В.Н. КОВАЛЕВСКИЙ, канд. техн. наук,
Г.М. СЕНЧЕНКО (БПИ)

ВЗРЫВНОЕ ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ 30ХГСА И СТАЛИ 40Х

Исследовалось влияние высокоскоростного деформирования на механические свойства стали 40Х и стали 30ХГСА. Деформирование осуществлялось путем обжатия труб на металлическую оправку [1] зарядом взрывчатого вещества аммонит №6ЖВ.

Испытанию подвергались стали в различных структурных состояниях*. Сталь 30ХГСА — в ферритно-перлитном состоянии (после нормализации), в сорбитном (после закалки и отпуска), в ферритно-аустенитном состоянии при температуре фазового перехода $Fe_\alpha \rightleftharpoons Fe_\gamma$ 850 °С с охлаждением после деформирования на воздухе. Сталь 40Х — после отжига при 850 °С, после закалки и отпуска при 200 °С, 500 и 600 °С.

Для ферритно-перлитного состояния стали 30ХГСА характерно интенсивное повышение предела прочности от 760 при $\bar{\epsilon} = 0$ до 1200 МПа при $\bar{\epsilon} = 8\%$.

* Работа выполнена совместно с Ю.Г.Алексеевым, В.Ф. Мельниковым.

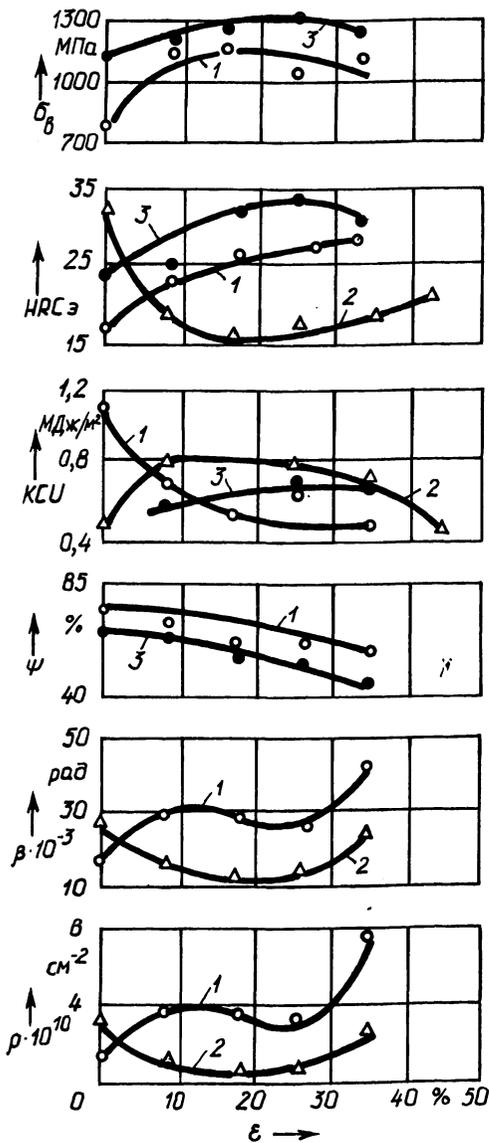


Рис. 1. Зависимость характеристик механических свойств и параметров тонкой структуры стали 30ХГСА от степени деформации:

1 – нормализация + деформация при $T = 20^\circ C$; 2 – нормализация + деформация при $T = 850^\circ C$; 3 – улучшение + деформация при $T = 20^\circ C$

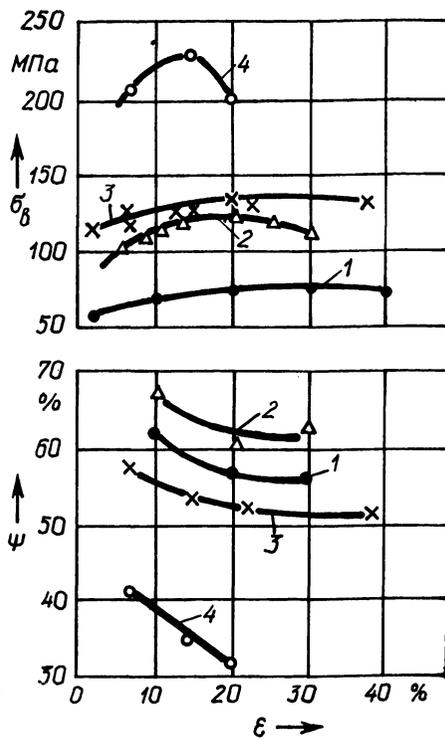


Рис. 2. Зависимость механических свойств стали 40Х от степени деформации:

1 – отжиг при $850^\circ C$; 2 – закалка при $830^\circ C$ в воду + отпуск при $600^\circ C$ 1 ч; 3 – закалка при $830^\circ C$ в воду + отпуск при $500^\circ C$ 1 ч; 4 – закалка при $830^\circ C$ в воду + отпуск при $200^\circ C$ 1 ч

Однако при $\bar{\epsilon} > 20\%$ предел прочности падает до 1050 МПа. Это, по-видимому, объясняется низкой исходной пластичностью стали, что приводит к "разрыхлению" структуры материала при больших деформациях с образованием микропор и микротрещин. Плотность дислокаций резко возрастает с $4 \cdot 10^{10}$ до $8 \cdot 10^{10}$ см^{-2} (рис. 1).

Степень упрочнения стали 30ХГСА, деформированной после закалки, ниже ($\sigma_B = 1150 \dots 1340$ МПа), но абсолютные значения прочностных характеристик σ_B , HRC_3 выше при практически равных характеристиках пластичности δ , ψ и вязкости КСУ. Критическая степень деформации, после превышения которой прочностные характеристики также снижаются, выше ($\bar{\epsilon} = 25\%$).

Повышение температуры деформации приводит к росту пластичности и свариваемости материала. Горячее деформирование сопровождается разупрочняющими процессами, а структура металла улучшается, освобождаясь от рыхлостей и микродефектов. Качество и способность к дальнейшей обработке такого металла значительно улучшаются. Поэтому на стали 30ХГСА проводили эксперименты по определению влияния высокоскоростного деформирования при повышенных температурах на ее строение и свойства. В качестве температуры деформации выбрана температура фазового перехода $\text{Fe}_\alpha \rightleftharpoons \text{Fe}_\gamma$ 850°C . Выбор обусловлен также тем, что горячее деформирование может повлиять на степень дефектности структуры и структурообразование стали в процессе охлаждения.

С повышением степени деформации до 16% твердость стали падает с 33 до 15 HRC_3 . В дальнейшем в материале формируются более устойчивые при высоких температурах дислокационные построения, которые приводят к росту твердости стали до 21 HRC_3 . Плотность дислокаций повышается до $3 \cdot 10^{10}$ см^{-2} .

Микрорентгеноспектральный анализ, выполненный на ДРОН-3, не показал качественных изменений в фазовом составе стали как при деформировании в холодном, так и в горячем состоянии. Присутствуют фазы Fe_3C , Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , FeSi , $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$, Mn_3C . Зафиксировано уменьшение площади пиков карбидных включений у горячедеформированной стали, что свидетельствует об их диссоциации и более равномерном распределении в матрице. С увеличением степени горячей деформации изменяется количественное соотношение

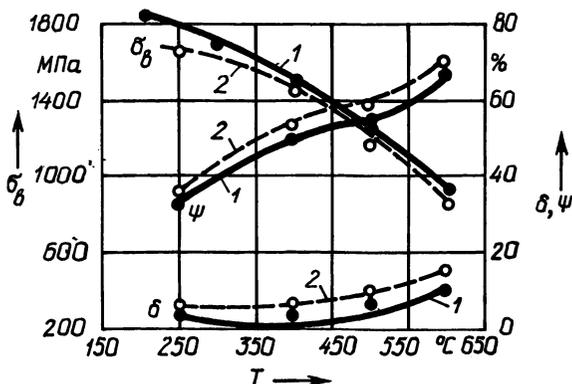


Рис. 3. Зависимость механических свойств стали 40Х от температуры отпуска:

1 — термообработка без деформационного упрочнения [2, 3];
2 — деформационное упрочнение перед термообработкой

между ферритными и перлитными зернами. Возрастает объем, занимаемый ферритными зернами, что связано с частичным растворением цементитных пластин.

Характер изменения микротвердости и плотности дислокаций в зависимости от температуры и степени деформации соответствует картине изменения прочностных свойств стали.

Для стали 40X при незначительной степени деформации прочностные свойства возрастают с одновременным падением пластичности (рис. 2). При достижении критической степени деформации $\epsilon_{кр}$ наблюдается перегиб: после отжига $\epsilon_{кр} = 30\%$, $\sigma_B = 770$ МПа, после закалки и отпуска при 600°C $\epsilon_{кр} = 20\%$, $\sigma_B = 1210$ МПа, после закалки и отпуска при 500°C $\epsilon_{кр} = 18\%$, $\sigma_B = 1350$ МПа, после закалки и отпуска при 200°C $\epsilon_{кр} = 15\%$, $\sigma_B = 2300$ МПа. При этом чем выше прочностные свойства исходного материала перед упрочнением, тем ниже критическая степень деформации. Связано это, по-видимому, с тем, что основным механизмом упрочнения стали является насыщение ее структуры внутренними дефектами.

Предварительное взрывное деформирование стали 40X оказывает влияние на процесс ее последующей термообработки. Как видно из рис. 3, предварительная деформация взрывом приводит к повышению конструкционной прочности материала: тем же значениям прочности, что и при стандартной термообработке [2, 3], соответствует большая пластичность. Объясняется это тем, что деформирование взрывом увеличивает дефектность структуры с более равномерным распределением дефектов по объему металла. При последующей закалке это приводит к увеличению числа центров зарождения мартенсита, уменьшению зерна и получению однородной структуры по объему металла.

Для практического применения рекомендуется закалка стали 40X с отпуском при 500°C совместно с деформационным упрочнением взрывом с $\epsilon = 5...40\%$. Упрочнение взрывом можно проводить как до, так и после термообработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Процесс высокоскоростного деформирования цилиндрической оболочки энергией взрыва / В.Н. Ковалевский, Ю.Г. Алексеев, А.П. Симончик, М.А. Павлюкевич // Проблемы повышения прочности элементов машиностроительных конструкций. — Пермь, 1983.
2. Справочник по машиностроительным материалам / Под ред. Ю.А. Геллера. — М., 1959.
3. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. — М., 1981.

УДК 621.746.6

В.Ф. СОБОЛЕВ, А.Н. ЧИЧКО,
кандидаты техн. наук (БПИ)

КЛАССИФИКАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ХИМИЧЕСКОЙ МИКРОНЕОДНОРОДНОСТИ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

Для разработки классификационной модели химической микронеоднородности двойных алюминиевых систем, полученных в неравновесных условиях, с помощью микрорентгеноспектрального анализа (микроанализатор "Ка-