

Литература

1. Олендер Л.А. Технология и оборудование шарикового производства / Л.А. Олендер. – Минск: Высшая школа, 1974. – 336 с.
2. Щетникович К.Г. Влияние осевой нагрузки на изменение условий скольжения при доводе

шариков сборным инструментом // Вестник машиностроения. – 2010. – № 1. – С. 13–17.

3. Филонов И.П. Механика процессов обкатки / Филонов И.П. – Минск : Наука и техника, 1985. – 328 с.

УДК 620.179.14

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ 9ХФМ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

Счастный А.С., Короткевич З.М., Бурак В.А., Осипов А.А.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Важной задачей при создании режущих инструментов для деревообработки является контроль качества термообработки изделий из инструментальных легированных сталей. Отжиг является одним из основных видов термической обработки, которая позволяет уменьшить структурные неоднородности, снизить внутренние напряжения материала после либо до его механической обработки. При термообработке инструментальных легированных сталей температура отжига оказывает влияние на предел прочности и твердость, причем это влияние неоднозначно и зависит от ряда факторов. Контроль температуры отжига позволяет повысить качество, как изготавливаемой продукции, так и технологичность производства.

Применение стандартных неразрушающих магнитных методов для контроля отжига изделий и материалов из инструментальных сталей оказалось затруднительно из-за неоднозначной связи между их магнитными параметрами и температурой отжига. Большие возможности для решения данной задачи имеет многопараметровый импульсный магнитный метод [1, 2], заключающийся в намагничивании испытуемого объекта сериями импульсов магнитного поля с изменяющейся амплитудой и полярностью.

Исследовалось влияние температуры отжига образцов инструментальной легированной стали 9ХФМ (размером 175x175x2,6 мм³) на градиент напряженности поля остаточной намагниченности при их импульсном намагничивании. Образцы были подвергнуты отжигу при температурах от 20 до 800 °С.

Использовалось два метода измерения. В первом случае намагничивание и измерение осуществлялось прибором ИМА-М [3]. Во втором случае намагничивание производилось рядом батареи конденсаторов блока ИМА-5Б [4] на прямоугольные катушки, которые имели размеры 100x35 мм², расстояние между центрами катушек составляло 100 мм. Измерения осуществлялись градиентометром с параллельным расположением ползунов, подключенных к прибору ИМА-4М [4, 5].

Преобразователь ИМА-М устанавливался в центр исследуемого образца, а затем производилось намагничивание тремя сериями импульсов первого цикла, максимальная амплитуда намагничивающего импульса имела значение $5,22 \cdot 10^5$ А/м.

Полученные зависимости для ∇H_{rn0} , ∇H_{rnm} , ∇H_{rn} , ∇H_{rms} и ∇H_{rpi} представляют собой семейство однотипных кривых, которые в случае градиентов напряженности поля остаточной намагниченности ∇H_{rn0} , ∇H_{rnm} , ∇H_{rn} представлены на рисунке 1.

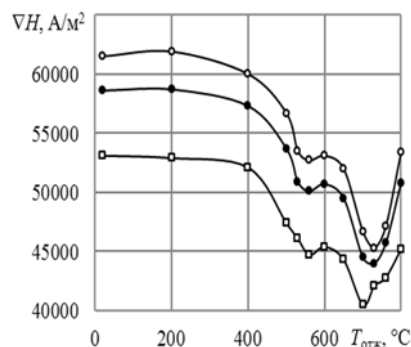


Рисунок 1 – Зависимость градиента напряженности поля остаточной намагниченности ∇H_{rn0} – (1), ∇H_{rnm} – (2), ∇H_{rn} – (3) от температуры отжига образцов стали 9ХФМ

По полученным данным была построена математическая линейная модель для температуры отжига в зависимости от градиента напряженности поля остаточной намагниченности вида:

$$T_{отж. п.} = b_0 + b_1 \cdot \nabla H_{rn} + b_2 \cdot \nabla H_{rnm} + b_3 \cdot \nabla H_{rms} + b_4 \cdot \nabla H_{rn0} + b_5 \cdot \nabla H_{rpi}, \quad (1)$$

где $b_0 \dots b_5$ – коэффициенты уравнения.

Коэффициент множественной корреляции, для данной математической модели равен $R = 0,951$ и приведенная относительная погрешность восстановления $T_{отж}$ равна $\gamma = 18 \%$, а среднеквадратическое отклонение $S = 97$ °С. Приведенная относительная погрешность восстановления вычисляется по формуле для коэффициента множественной корреляции $R > 0,9$ согласно [6]

$$\gamma^2 = (1-R^2)/3 \quad (2)$$

Прямоугольные катушки устанавливались в центр исследуемого образца. Намагничивание осуществлялось последовательностью импульсов разных направлений с амплитудами, равными 210, 70, 35, -35, -50, 35, -35, -70, 35, -35, -100 кА/м. Катушки были подключены последовательно по направлению магнитного поля в исследуемом образце и располагались так, чтобы намагничивание осуществлялось вдоль направления прокатки исследуемого листа. При таком способе намагничивания используется направленное магнитное поле вместо радиально-симметричного, а используемые импульсы имели более затянутый задний фронт, что позволяет снизить влияние вихревых токов на измеряемый параметр.

Полученные зависимости представляют собой семейство однотипных кривых, на рисунке 2 представлены значения градиента напряженности поля остаточной намагниченности, измеренные после намагничивающих импульсов амплитудой 210, 70 и 35 кА/м для ∇H_{rn210} , ∇H_{rn70} , ∇H_{rn35} соответственно.

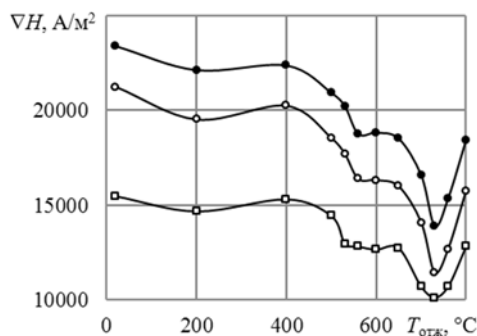


Рисунок 2 – Зависимость градиента напряженности поля остаточной намагниченности ∇H_{rn70} – (1), ∇H_{rn210} – (2), ∇H_{rn35} – (3) от температуры отжига образцов стали 9ХФМ

По полученным данным была построена математическая линейная модель для температуры отжига в зависимости от градиента напряженности поля остаточной намагниченности вида:

$$T_{отж.р.} = b_0 + b_1 \cdot \nabla H_{rn210} + b_2 \cdot \nabla H_{rn70} + b_3 \cdot \nabla H_{rn35} + b_4 \cdot \nabla H_{rn-35} + b_5 \cdot \nabla H_{rn-50} + b_6 \cdot \nabla H_{rn35} + b_7 \cdot \nabla H_{rn-35} \quad (3)$$

Коэффициент множественной корреляции для данной линейной математической модели составил $R = 0,984$ и приведенная относительная погрешность восстановления $T_{отж}$ равна $\gamma = 10\%$ по формуле (2), а среднеквадратическое отклонение $S = 68\text{ }^\circ\text{C}$.

При оценке математической модели установлено, что приведенная погрешность восстановления $T_{отж}$ по второй математической модели

($\gamma = 10\%$) выше, чем при использовании первой математической модели ($\gamma = 18\%$).

Как видно из рисунков 1 и 2, полученные зависимости имеют схожий характер хода при температурах отжига свыше $530\text{ }^\circ\text{C}$, следует отметить, что при температуре отжига $400\text{ }^\circ\text{C}$ зависимости на рисунке 2 имеют экстремум в отличие от зависимостей на рисунке 1, где наблюдается их плавный ход. На основании приведенных данных можно сделать вывод о том, что использование направленного намагничивания с изменяющейся амплитудой и полярностью является более предпочтительным.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что для оценки температуры отжига инструментальной легированной стали 9ХФМ может быть использован импульсный магнитный метод контроля. Причем большую достоверность для данной стали имеет второй из рассмотренных методов.

Литература

1. Мельгуй, М.А. Многопараметровые методы магнитной структуроскопии и приборы для их реализации. Ч.1. Многопараметровая магнитная структуроскопия с использованием параметров петли магнитного гистерезиса в замкнутой магнитной цепи электромагнит-изделие. Обзор. / М.А. Мельгуй // Дефектоскопия, 2015. – № 2. – С. 27–34.
2. Мельгуй, М.А. Многопараметровые методы магнитной структуроскопии и приборы для их реализации. Ч.2. Импульсный магнитный многопараметровый метод и прибор ИМА-М для его реализации / М.А. Мельгуй // Дефектоскопия, 2015. – № 3. – С. 11–20.
3. Матюк В.Ф. Разработка нового прибора для магнитной структуроскопии на основе особенностей гистерезиса остаточной намагниченности при импульсном перемагничивании изделия / В.Ф. Матюк, М.А. Мельгуй // Приборы и методы измерений, 2011. – № 1(2). – С. 17–24.
4. Мельгуй, М.А. Импульсный магнитный анализатор ИМА-5Б / М.А. Мельгуй [и др.] // Научно технические достижения, 1990. – № 4. – С. 41–44.
5. Счастный, А.С. Исследование влияния параметров намагничивания на градиент напряженности поля остаточной намагниченности при контроле коэффициента нормальной анизотропии / А.С. Счастный, В.А. Бурак, А.А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика, 2017. – № 3. – С. 37–49.
6. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.