



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1215361** **A**

(51) 4 C 21 D 1/78

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 3579858/22-02

(22) 14.04.83

(46) 30.03.88. Бюл. № 12

(71) Институт технической теплофизики АН УССР

(72) Н.И.Кобаско

(53) 621.785.796(088.8)

(56) Авторское свидетельство СССР № 454266, кл. C 21 D 1/78, 1977.

Шепеляковский К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. М.: Машиностроение, 1972, с. 287.

(54)(57) СПОСОБ ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ МАРОК СТАЛЕЙ, включающий нагрев выше  $A_{с3}$  и охлаждения, отличающийся тем, что, с целью повышения ресурса работы деталей, охлаждение проводят со скоростью

$$V = \frac{aK}{K} \ln(T - T_c),$$

где  $V$  - скорость охлаждения сердцевины детали;

$a$  - температуропроводность материала;

$K_n$  - число Кондратьева ( $0,8 \leq K_n \leq 1$ );

$k$  - коэффициент формы Кондратьева;

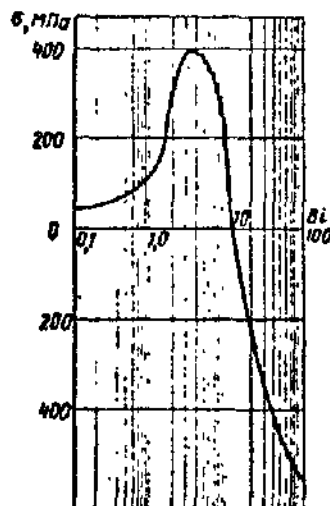
$T$  - текущая температура в центре детали;

$T_c$  - температура окружающей среды в течение времени

$$\tau = \frac{K}{aK_n} \cdot (b + 0,24k),$$

где  $b$  - постоянная, зависящая от температуры аустенизации и температуры окружающей среды;

$k$  - 1, 2, 3 соответственно для тел пластинчатой, цилиндрической и шарообразной формы, после чего охлаждение прекращают и затем осуществляют изотермическую выдержку при температуре  $M_n \pm 20^\circ C$  до полного распада аустенита в центре детали.



Фиг. 1

РПФ-К

(19) **SU** (11) **1215361** **A**

Изобретение относится к области термической обработки стали и может быть использовано при обработке деталей машиностроительной промышленности и инструмента.

Цель изобретения - повышение ресурса работы деталей.

На фиг. 1 дана зависимость окружных остаточных напряжений от числа Био; на фиг. 2 - характер изменения с течением времени температуры и окружных напряжений на поверхности и в центре цилиндрического образца диаметром 6 мм ( $Bi \rightarrow \infty$ ) ( $T_n$  - температура поверхности;  $T_y$  - температура в центре образца;  $\sigma_n$  - окружные напряжения на поверхности;  $\sigma_y$  - напряжения в центре образца).

Установлено, что с увеличением интенсивности закалки, т.е. с увеличением числа Био, остаточные напряжения в поверхностных слоях изделий при их сквозной закалке сначала увеличиваются, достигая максимальных растягивающих напряжений при  $Bi=4$ , а затем при  $Bi \geq 18$  снижаются до нуля и при дальнейшем увеличении интенсивности охлаждения становятся сжимающими (фиг. 1). Поэтому закалку стальных изделий целесообразно проводить в условиях интенсивного охлаждения при  $Bi=18$ , т.е. в формуле

$$V = \frac{aK_n}{k}(T - T_c), \quad (1)$$

где  $V$  - скорость охлаждения сердцевины детали;

$K_n$  - число Кондратьева;

$k$  - коэффициент формы Кондратьева;

$T$  - текущая температура в центре детали;

$T_c$  - температура окружающей среды;

число Кондратьева  $0,8 \leq K_n \leq 1$ ;

Известно, что при  $Bi \rightarrow \infty$   $K_n \rightarrow 1$ .

Далее установлено, что по мере продвижения мартенситной фазы в глубь изделия сжимающие напряжения на поверхности деталей сначала достигают максимума, а затем уменьшаются и могут стать растягивающими, если  $Bi < 18$  (фиг. 2). Максимум сжимающих напряжений на поверхности изделий соответствует оптимальной глубине проникновения мартенситной фазы в глубь изделия.

Значения осевых ( $\sigma_y$ ) и окружных ( $\sigma_n$ ) максимальных напряжений в цилиндрических деталях в зависимости от числа Био представлены в таблице.

Из таблицы видно, что независимо от размеров изделий в момент достижения максимальных сжимающих напряжений температура в центре цилиндра снижается примерно до  $450^\circ\text{C}$ . Аналогичная закономерность наблюдается также при закалке деталей пластинчатой и шарообразной формы. Обобщая полученные результаты, предложена формула

$$\tau = \frac{k}{aK_n}(b + 0,24k) \quad (2)$$

для определения момента достижения максимальных сжимающих напряжений на поверхности закаливаемых изделий. В приведенной формуле постоянная

$$b = \ln \frac{T_0 - T_c}{T_y - T_c},$$

где  $T_0$  - температура аустенизации;

$T_c$  - температура окружающей среды;

$T_y$  - температура в центре изделия в момент достижения максимальных сжимающих напряжений на поверхности изделий.

Для среднеуглеродистых марок сталей, для которых  $T_0 = 850^\circ\text{C}$ ,  $b = 0,66$ . Для инструментальных сталей типа Р6М5, Р18, температура аустенизации которых  $1180-1300^\circ\text{C}$ ,  $b = 1,28$ . Поэтому постоянная в формуле (II) может изменяться в пределах  $0,664-1,28$ .

Изотермическая выдержка при температуре начала мартенситного превращения ( $M_n$ ) необходима для того, чтобы зафиксировать те максимальные сжимающие напряжения, которые достигаются при проникновении мартенситной фазы на оптимальную глубину. При изотермической выдержке происходит распад переохлажденного аустенита в центральные слои изделия на промежуточные фазы, имеющих по сравнению с мартенситом меньший удельный объем, что позволяет зафиксировать высокие сжимающие напряжения на поверхности изделий, для чего деталь, сразу же после прекращения охлаждения, помещают в печь с температурой, близкой к температуре начала мартенситного превращения  $M_n$ .

При полном остывании или остывании центральных слоев до температуры  $M_s$  происходит уменьшение сжимающих напряжений и могут образоваться закалочные трещины из-за раздвигающих усилий в центре изделий, обусловленных большим удельным объемом мартенсита.

В формуле (1) приведена скорость охлаждения сердцевин изделий по той простой причине, что в условиях  $Bi \rightarrow \infty$  нет смысла говорить о скорости охлаждения поверхности, поскольку в этих условиях температура поверхности изделий практически мгновенно понижается до температуры охлаждающей среды, независимо от формы и размеров тел. Поэтому вместо скорости охлаждения поверхности приведена скорость охлаждения точек, наиболее отдаленных от поверхности (сердцевины) деталей.

Ниже приведены конкретные примеры реализации способа закалки деталей, изготовленных из высоколегированных марок сталей.

**Пример 1.** Полуось автомобиля КраЗ из стали 40ХН2МА диаметром 62 мм подвергают объемному нагреву на установке ТВЧ до  $870-880^\circ\text{C}$ , после чего полуось переносят в закалочную камеру для охлаждения в потоке воды под давлением 0,25 МПа, движущейся со скоростью 10 м/с ( $\alpha_{\text{кв}} = 38000 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ ,  $Bi=60$ ). В камере полуось начинает охлаждаться со скоростью (скорость охлаждения сердцевин)

$$V = \frac{aK_n}{K} (T_0 - T_c) = \frac{5,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} (880^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C})}{1,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 27^\circ\text{C/с},$$

( $a=5,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $T_0 = 860^\circ\text{C}$ ;  $T_c = 40^\circ\text{C}$ ;  $K=1,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;  $K_n=1$ ) и в момент достижения максимальных сжимающих напряжений на поверхности полуоси, определяемый по формуле

$$\tau = \frac{K}{aK_n} (b+0,24k) = \frac{R^2}{5,783a} \cdot 1,14 \approx 34 \text{ с},$$

( $R=0,031 \text{ м}$ ;  $a=5,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $K=2$ ;  $K_n=1$ ), интенсивное охлаждение прекращают и осуществляют изотермическую выдержку при  $350^\circ\text{C}$  30 мин.

В результате примененного способа по сравнению с закалкой в масле в несколько раз увеличивается долговечность работы полуосей.

**Пример 2.** Шпилька атомного реактора из стали 38ХНЗМФА диаметром 0,19 м охлаждается от  $870^\circ\text{C}$  интенсивным душем или водо-воздушной смесью ( $Bi=18$ ) с начальной скоростью

$$V = \frac{5,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \cdot 0,8(870^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C})}{1,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2} \approx$$

$$\approx 40^\circ\text{C/с},$$

( $K=1,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ;  $K_n=0,8$ ;  $T_0 = 870^\circ\text{C}$ ;  $T_c = 40^\circ\text{C}$ ;  $a = 5,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ) до момента времени, при котором достигаются максимальные сжимающие напряжения на поверхности шпильки, определяемого по формуле

$$\tau = \frac{1,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 (0,66+2 \cdot 0,24)}{5,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \cdot 0,8} = 416 \text{ с},$$

( $K = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ;  $a = 5,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $K_n = 0,8$ ;  $b=0,66$ ;  $K=2$ ), после чего осуществляется выдержка при  $280^\circ\text{C}$  50 мин и далее осуществляется обычный отпуск шпильки.

При такой технологии устраняется возможность образования закалочных трещин, повышается долговечность работы шпильки, устраняется необходимость применения масла в качестве закалочной среды.

**Пример 3.** Матрицу из стали Р6М5 высотой 40 мм и диаметром 90 мм охлаждают от температуры аустенизации  $1180^\circ\text{C}$  в водных растворах солей (например, в бифофите) с начальной скоростью

$$V = \frac{5,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} (1180^\circ\text{C} - 125^\circ\text{C})}{1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} \approx$$

$$\approx 50^\circ\text{C/с};$$

( $K=1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;  $a=5,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $T=1180^\circ\text{C}$ ;  $T_c = 125^\circ\text{C}$ ;  $K_n=1$ ), так как в солевых растворах  $Bi \rightarrow \infty$ , до достижения максимальных сжимающих напряжений на поверхности матрицы, которые наблюдаются в момент времени

$$\tau = \frac{1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (1,18+3 \cdot 0,24)}{5,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}} \approx 40,2 \text{ с},$$

(где  $b=1,18$ ;  $R=3$ ;  $K=1,1 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3$ ;  $a = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $K_n=1$ ), после чего осуществляют изотермическую выдержку при  $200^\circ\text{C}$  1 ч, далее осуществляют обычный отпуск стали.

В результате применения способа увеличивается в два раза долговечность работы матриц, устраняется возможность образования закалочных тре-

шин при закалке матриц в условиях высокофорсированного теплообмена, отпадает необходимость применения масла в качестве закалочной среды, появляется возможность замены стали Р6М5 менее легированной сталью.

Преимущество предложенного способа по сравнению с обычной закалкой в масле состоит в следующем.

Повышается производительность труда. Предложенный способ охлаждения открывает широкие возможности использования вместо минеральных масел и водных растворов полимеров душирующих и спрейерных устройств водных растворов солей, например бисшофита. Способ легко реализуем.

Благодаря интенсификации охлаждения при фазовых превращениях повыша-

ются механические свойства материала, снижается порог полухрупкости, улучшаются параметры, характеризующие вязкость разрушения, повышаются пластические свойства материала.

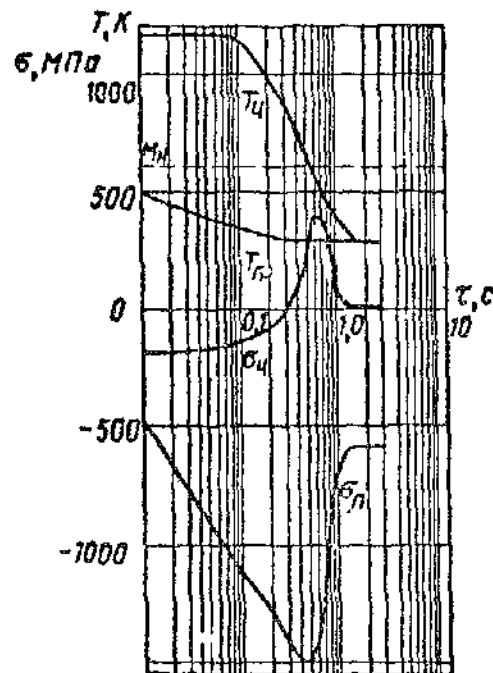
Из-за высоких остаточных сжимающих напряжений на поверхности закаленных деталей повышается ресурс их работы.

Устраняется возможность возникновения пожаров и отсутствует загрязнение атмосферы продуктами разложения масел.

В условиях интенсификации процесса охлаждения устраняется возможность образования закалочных трещин и уменьшается коробление деталей.

Перечисленные преимущества позволяют получить значительные экономические эффекты в народном хозяйстве.

В1	Диаметр цилиндра, мм	Время достижения $t_{\max}$ , с	Температура в центре цилиндра в момент достижения $t_{\max}$ , °C	Значения максимальных напряжений, МПа		Глубина проникновения мартенсита, r/R
				$\sigma_1$	$\sigma_2$	
10,8	6	0,52	412	-950	-700	0,62
21,6	6	0,45	425	-1150	-1000	0,58
36	60	40	452	-1200	-1100	0,5
43,5	6	0,4	457	-1250	-1150	0,58
100	6	0,4	450	-1500	-1500	0,52



Фиг. 2

Редактор Т. Иванова Техред Л. Сердюкова

Корректор М. Пожо.

Заказ 1429

Тираж 545

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР  
по делам изобретений и открытий  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная, 4

