ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
Том 101 ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА 1958 г.

К ВОПРОСУ О СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ И СТРУКТУРЕ СЛОЯ ПРИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ РАСПЫЛЕНИЕМ

А. Ф. КРУПИН, Г. П. БОЙКОВ.

Представлено проф. А. Н. ДОБРОВИДОВЫМ и проф. Г. И. ФУКС

Проведенный расчет температуры частиц в конусе распыла при электрометаллизации распылением [1] сталью показывает, что частицы достигают металлизируемой поверхности при температуре несколько ниже температуры кристаллизации. Дальнейшее охлаждение частиц происходит на поверхности металлизируемого изделия. От того, с какой скоростью будет происходить охлаждение частиц на поверхности, может быть получено покрытие с различной твердостью, и, следовательно, другими связанными с ней, свойствами. Расчет скорости охлаждения частиц на поверхности представляет не только теоретический интерес, но и большое практическое значение с точки зрения сравнения ее с критической скоростью закалки и, следовательно, оценки структуры капли в металлизационном слое.

Известно, что скорость охлаждения в интервале температур $A_1 - M$ оказывает существенное значение на температуру начала мартенситного превращения. При охлаждении стали от температуры точки A_1 со скоростью, меньше критической, происходит частичный распад аустенита, который приводит к повышению мартенситной точки M, или же полный распад аустенита с образованием феррито-карбидной смеси различной степени дисперсности. При скорости охлаждения, равной критической или больше ее, получается структура мартенсита.

Охлаждение частиц на поверхности изделия происходит за счет переноса тепла лучеиспусканием, конвекцией и теплопроводностью. При ударе о металлизируемую поверхность частицы, имеющие форму шара, деформируются и приобретают вид пластинок толщиною $2R = 0{,}001 - 0{,}002$ *мм* [2]. Так как другие размеры такой пластинки велики по сравнению с толщиною, то пластинку с точки зрения теории теплопроводности можно считать неограниченной. В момент удара температура частицы повышается (согласно нашим подсчетам примерно на 20—25° С) вследствие перехода некоторой доли кинетической энергии в теплоту. После удара частицы начинают быстро охлаждаться. Ниже приводится попытка дать приближенный расчет скорости охлаждения частицы на металлизированной поверхности.

Для расчета охлаждения частиц, расположенных в один слой на изделии, принимаем следующие условия и допущения: а) частицы падают на стальной цилиндр и имеют толщину после удара 0,001 *мм*; б) скорость движения воздушной струи, омывающей цилиндр $w = 170$ *м/сек* [3]; в) температура воздушной струи в конусе распыла $t_{возд} = 85°$ С [4];

тепло, отводимое в металлизируемое изделие и отдаваемое частицей путем конвекции, приблизительно равны [5]; д) начальная температура частицы 1436° С (температура частицы в момент удара, плюс повышение температуры частицы за счет перехода части кинетической энергии в теплоту).

При расчете охлаждения частиц на поверхности приняты следующие теплофизические характеристики: $\lambda = 25 \frac{ккал}{м.\ час\ град.}$; $a = 0{,}025 \frac{м^2}{час}$; $C_{изл} = 4{,}2 \frac{ккал}{м^2\ час\ град\ К^4}$; $\alpha = 220 \frac{ккал}{м^2\ час\ град}$; [6]. Расчет ведем по формуле для неограниченной пластины [7], которую для случая охлаждения можно представить в виде:

$$t_m = t_o - \frac{a\tau_1}{\lambda R} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} q_{ci}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1),$$

где

$$q_{ci} = \frac{q'_{ci} + q''_{ci} + q'''_{ci}}{2}$$

представляет собою эффективный тепловой поток, отнимаемый от тела.

Далее определяем:

1. Лучистый поток тепла, отдаваемый частицей:

$$q'_{c1} = C\left(\frac{T_o}{100}\right)^4 = 4{,}2\left(\frac{1436 + 273}{100}\right)^4 = 363 \cdot 10^3 \frac{ккал}{м^2\ час}.$$

2. Конвективный поток тепла:

$$q''_{c1} = \alpha\,(T_o - T_{возд}) = 220(1436 - 85) = 298 \cdot 10^3 \frac{ккал}{м^2 час}$$

На основании принятого допущения:

$$q''_{c1} = q'''_{c1}$$

Следовательно,

$$q_{c1} = \frac{q'_{c1} + q''_{c1} + q'''_{c1}}{2} = 479{,}5 \cdot 10^3 \frac{ккал}{м^2 час}$$

3. Ориентировочно расчетный интервал времени находим по формуле [7]:

$$\tau_1 = \frac{0{,}03 \cdot T_o \lambda R}{q_{c1} \cdot a} = 538 \cdot 10^{-10}\ часа.$$

Для большей точности расчета принимаем:

$$\tau_1 = 350 \cdot 10^{-10} часа.$$

4. Температура частицы по истечении первого расчетного интерла времени согласно формуле (1):

$$t_1 = t_0 - \frac{a \cdot \tau_1}{\lambda R} \cdot q_{c1} = 1403°C.$$

Зная температуру частицы по истечении первого расчетного интер-

вала времени, определяем эффективный тепловой поток для следующей ступени:

$$q_{c2} = \frac{q'_{c2} + q''_{c2} + q'''_{c2}}{2} = 459 \cdot 10^3 \frac{ккал}{м^2 час}$$

Здесь

$$q'_{c2} = C\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \text{ и } q''_{c2} = \alpha (T_1 - T_{возд}).$$

5. Действительную погрешность расчета оцениваем, пользуясь неравенством:

$$\varphi_m < \frac{3(q_{c1} - q_{c2})}{q_{c1}\left(1 + 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\mu_n^2 \frac{a\tau_1}{R^2}}\right)} = 0{,}128.$$

Таким образом, погрешность расчета при заданном расчетном интервале времени составляет менее 12,8 процента.

Окончательно принимая этот расчетный интервал времени, имеем

$$t_2 = t_0 - \frac{a\tau_1}{\lambda R}(q_{c1} + q_{c2}) = 1371°C,$$

где t_2 представляет температуру частицы по истечении второго расчетного интервала времени. Продолжая аналогичные вычисления, находим t_3, t_4 и т. д., которые для удобства наносим на график функции $t = f(\tau)$ (рис. 1).

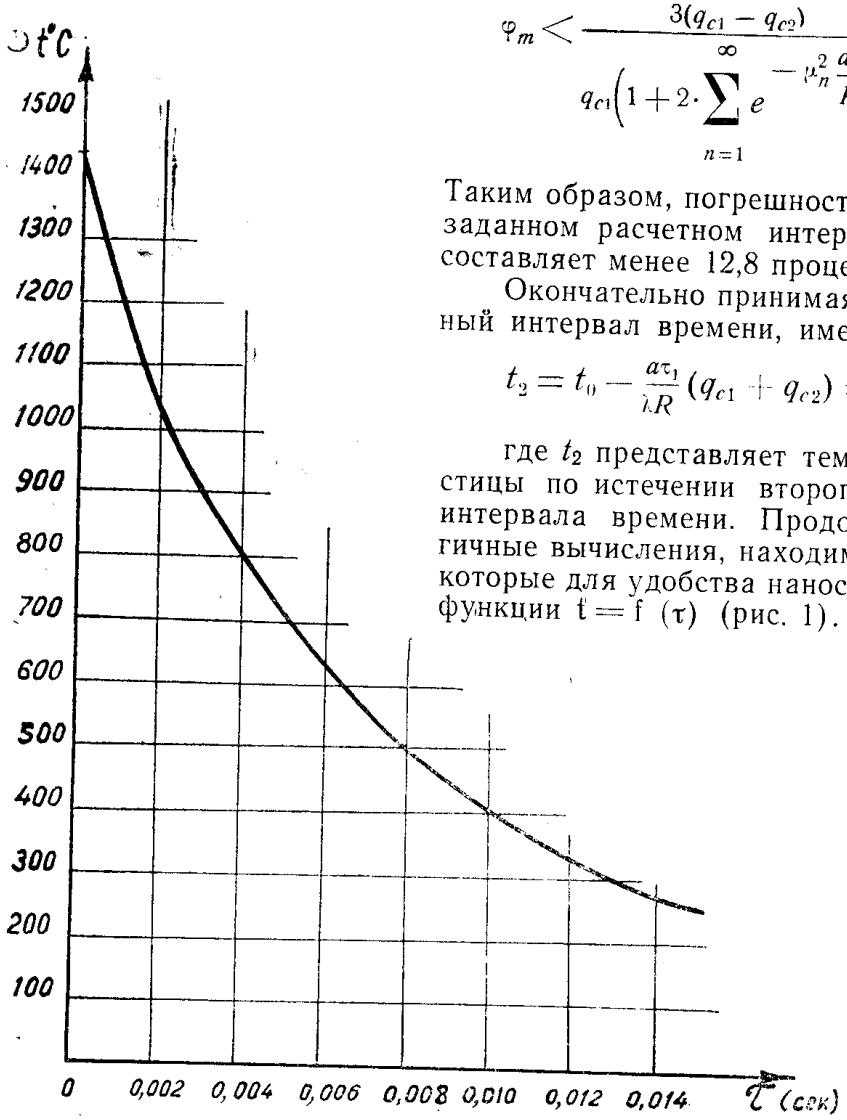


Рис 1. Изменение температуры частицы на металлизируемой поверхности.

Рассмотрение кривой показывает, что скорость охлаждения частицы на металлизируемой поверхности в интервале $A_1 - M$ значительно выше критической скорости закалки, которая для углеродистой стали находится в пределах 150—350°/*сек* [8]. Поэтому следует ожидать, что структура капли в слое будет представлять мартенсит и остаточный аустенит, или чистый мартенсит.

Нами были проведены специальные исследования структуры тонких металлизационных слоев (толщиною в 1—2 деформированных частицы), полученных при нормальных режимах электрометаллизации. Результаты металлографического анализа приведены на рис. 2, где достаточно ясно выражена структура мелкоигольчатого мартенсита. Во многих случаях наблюдается структура бесструктурного мартенсита.

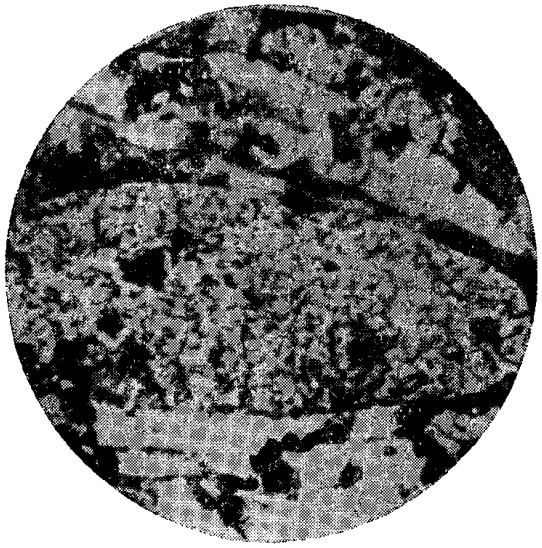


Рис. 2. Структура капли — мелкоигольчатый мартенсит. (сталь У12А.)×400.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Крупин, Г. П. Бойков — «Охлаждение частиц в конусе распыла при электрометаллизации распылением». Известия ТПИ, том 85, 1957.
2. Эксплуатация металлизационных аппаратов, Машгиз, 1955 год.
3. Н. В. Катц, Е. М. Линник,— Электрометаллизация, Сельхозгиз, 1953.
4. Электрометаллизация при ремонте изношенных автодеталей (краткое руководство), Воениздат Народного Комиссариата обороны, 1945.
5. С. С. Штейнберг — Охлаждающие среды для закалки, ГОНТИ, Ленинград, 1939.
6. С. Н. Шорин — Теплопередача, Москва, 1952 г., ГИСЛ.
7. Г. П. Бойков — Прогрев тел под действием лучистого тепла. Диссертация, Томский политехнический институт им. С. М. Кирова, 1955.
8. А. П. Гуляев — Термическая обработка стали, Машгиз, 1953.