УДК 536.522.3

К ИЗМЕРЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРМОИНДИКАТОРАМИ

Б. Г. Абрамович

Метод измерения температуры термоиндикаторами во многих случаях очень удобен и находит применение в промышленности и научных исследованиях. Термоиндикаторы обладают свойством при определенной температуре, называемой «критической температурой» или «температурой перехода» ($t_{кр}$), резко изменять свой цвет. Это свойство и дает возможность применять их для индикации температуры.

Названный метод позволяет производить измерение температур на движущихся деталях, на больших поверхностях в значительном числе точек, на токоведущих частях и в ряде других случаев, когда применение обычных средств термометрии затруднено или исключено.

Были изучены свойства набора из тридцати термочувствительных красок в диапазоне температур 45—825° С [1, 3, 4] и установлено, что температура перехода зависит от давления, времени подъема (роста) температуры ($\tau_п$) и времени выдержки при данной температуре [$\tau_в$], т. е. $t_{кр} = f(p, \tau_п, \tau_в)$, что не противоречит данным других исследователей [5—8].

Таблица цветовых координат набора термочувствительных красок

№ термокраски	$t^\circ_{кр}$ С при $\tau_п = 2$ мин. $\tau_в = 0{,}5$ мин.	До воздействия температуры					После воздействия температуры				
		x	y	I, %	λ, *ммк*	P, %	x	y	I, %	λ, *ммк*	P, %
1 а	45	0,3147	0,3065	51,01	517	2	0,2178	0,2598	31,37	483	22
17	55	0,3628	0,3499	42,66	584,3	31	0,2698	0,3256	36,03	493,8	17
31	40	0,3436	0,3356	41,12	585,5	18	0,2813	0,3300	29,98	496,9	13
4 б	74	0,3081	0,3303	61,75	540	7	0,2591	0,2801	37,51	481,5	12
32	90	0,3223	0,3360	36,42	574	13	0,2782	0,3000	23,89	484	7
50	110	0,3620	0,3493	38,65	583,5	31	0,3310	0,3121	25,98	493,7	4
4	130	0,3135	0,3473	47,79	555,8	17	0,2913	0,2932	31,22	471	3
30	130	0,4252	0,4227	52,77	578,7	70	0,4619	0,4033	36,50	597	55
19	145	0,2870	0,3253	38,90	496,3	10	0,3296	0,3269	8,49	608	65
5	150	0,2780	0,2595	26,23	452	2	0,3013	0,3109	6,48	482,3	3
29	170	0,3305	0,3227	68,53	594	8	0,3272	0,3234	9,30	580	9
6	190	0,3286	0,3388	73,41	575,7	16,5	0,3100	0,3163	5,50	—	0
18	205	0,2174	0,3242	34,45	491,8	31	0,3430	0,3411	32,80	580	22
230	220	0,2774	0,3575	37,98	517,7	21	0,3331	0,3421	53,28	580	168
240	225	0,2483	0,3179	51,6	491,1	23	0,3230	0,3337	69,54	574,7	12
8	240	0,3098	0,3691	40,26	549	26	0,3670	0,3741	22,35	575	40
320	250	0,1993	0,1668	14,75	471	23	0,3475	0,3513	50,50	578,7	27
35	290	0,3138	0,3039	71,28	540	2,5	0,3553	0,3485	27,71	582	28
33	320	0,3263	0,3187	59,76	608	5	0,2894	0,2991	14,25	479	9
26	350	0,3273	0,3142	41,33	620	5	0,3023	0,3129	11,90	485	2
12	370	0,2282	0,2320	18,56	477	18	0,3450	0,3439	52,69	581,6	23
230	400	0,2774	0,3575	37,98	517,7	21	0,3184	0,3252	73,60	579	7
470	440	0,2299	0,2764	17,48	484,7	24,6	0,3435	0,3530	52,82	576	27
480	480	0,2150	0,2299	21,12	479	24	0,3105	0,3153	39,10	524	2
490	515	0,2724	0,3110	18,03	489,5	13	0,3450	0,3479	40,73	579,5	25
14	560	0,3810	0,2713	39,64	498,5	20	0,3127	0,3330	85,70	558,5	9
52а	560	0,3110	0,3191	6,12	563	2	0,2609	0,3365	7,97	495,8	22
30	590	0,4251	0,4227	52,77	578,7	70	0,3159	0,3245	70,01	560	5,8
7	690	0,3393	0,3613	51,22	571,4	30	0,2487	0,4200	18,93	512,3	41,8
100	825	0,3248	0,3115	47,26	495	3	0,3066	0,2044	18,20	551,5	14

Рассмотрение этой зависимости в интервалах: 0,05 *ата* $\leqslant p \leqslant$ 1 *ата*, 0,5 мин. $\leqslant \tau_в \leqslant$ 300 мин., 2 мин. $\leqslant \tau_п \leqslant$ 300 мин. показало, что

а) $t_{кр} = f(p)$ при 0,5 *ата* $< p <$ 1 *ата*, причем для большинства термокрасок $\partial t_{кр} / \partial p < 0$*; при $p <$ 0,5 *ата* $\partial t_{кр} / \partial p = 0$;

б) $t_{кр} = f(\tau_п)$ при 2 мин. $< \tau_п <$ 80 мин., причем $\partial t_{кр} / \partial \tau_п < 0$**; $\partial t_{кр} / \partial \tau_п = 0$ при $\tau_п >$ 80 мин;

---

* Это явление еще не имеет стройного теоретического обоснования.

** При увеличении продолжительности теплового воздействия снижается температура, необходимая для прохождения соответствующих химических реакций и связанное с этим изменение цвета.

в) $t_{кр} = f(\tau_в)$ при 30 сек. $< \tau_в <$ 80 мин., причем $\partial t_{кр} / \partial \tau_в < 0$;

$$\frac{\partial t_{кр}}{\partial \tau_п} = 0 \qquad \text{при } \tau_в > 80 \text{ мин.}$$

На основании этого были построены градуировочные кривые [1—4], пользуясь которыми можно с достаточной точностью определять температуру.

Изменение цвета является критерием для оценки температуры при применении термоиндикаторов, поэтому очень важно исключить произвольное толкование названий цветов термокрасок до и после воздействия температуры. Для некоторого стандартизирования цвета исследуемого набора термокрасок было проведено измерение их цвета.

Как известно, измерение и выражение цвета основано на трехкомпонентной теории зрения. Общепринятой является система выражения цвета тремя координатами либо *XYZ МКО* (международная стандартная система), либо λ, P, I (цветовой тон — чистота цвета — яркость).

Чтобы выразить цвет термокрасок набора, были произведены спектрофотометрические измерения до и после воздействия температуры на автоматическом спектрофотометре СФ-10 и выполнены необходимые расчеты. Результаты измерений и расчетов представлены в таблице. Цвет каждой термокраски выражен как через трехцветные коэффициенты x, y *МКО*, так и через значения λ, P, I при освещении стандартным колориметрическим источником C. Как видно из таблицы, значения характеристик цвета термокрасок до воздействия и после воздействия температуры значительно отличаются друг от друга (на несколько порогов зрения), что подтверждает возможность их применения для измерения температуры и с точки зрения цветового различия для нормального наблюдателя.

Москва

Поступило в редакцию
27 V 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Рассудова, Б. Г. Абрамович, В. А. Петрашев, Н. Н. Хлестова. Измерение температуры поверхности при помощи термоиндикаторов. ГОСИНТИ № 2—65—1370/139.
2. Н. С. Рассудова, Н. Н. Хлестова, Лакокрасочные материалы и их применение, № 1, 44, 1964.
3. Б. Г. Абрамович, В. А. Петрашев, Авиационная промышленность, № 4, 1966.
4. Б. Г. Абрамович, В. А. Петрашев, Н. С. Рассудова, Н. Н. Хлестова. О применении термоиндикаторов для измерения температур до 825° С. Доклад на Научно-технической конференции по вопросам измерения высоких температур. Харьков, 1965.
5. Е. Хоригути. Кагаку соти, 4, № 2, 64, 1962.
6. Ц. Фунаяма, Е. Хоригути. Сикидзай кекайси, 34, 415, 507, 1961.
7. M. Potop, A. Potop. Communical Academien Rep. Populare Romine, 4, 603, 1954.
8. R. A. Jones, J. L. Hunt, AIAA Journal, 2, № 7, 1354, 1964.
9. М. М. Гуревич. Цвет и его измерение, Изд. АН СССР, 1950.

КОНДЕНСАЦИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ПАРА НА СТРУЕ ЖИДКОСТИ

С. Д. Духовлинов

Постановка задачи. Плоскопараллельная струя жидкости обдувается спутным потоком пара (рис. 1). Пар конденсируется на поверхности струи при температуре $T_к$, определяемой родом рабочего тела и давлением. Образующийся конденсат увлекает близлежащие слои охлаждающей жидкости, что вызывает развитие пограничного слоя, который в большинстве случаев турбулентный. Тепло, выделяющееся при конденсации, передается основной массе охлаждающей жидкости путем турбулентного перемешивания. Молекулярная теплопроводность и теплю, образующееся в результате ударных потерь, малы и не учитываются. Предполагаем: 1) параметры пара соответствуют верхней пограничной кривой, 2) процесс конденсации изобарический, 3) охладитель не содержит пузырей пара, 4) поля скоростей и температур на входе равномерны, 5) нормальная составляющая скорости пара мала и не оказывает заметного влияния на процесс. Рассматривается начальный участок пограничного слоя.