

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ГАЗОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

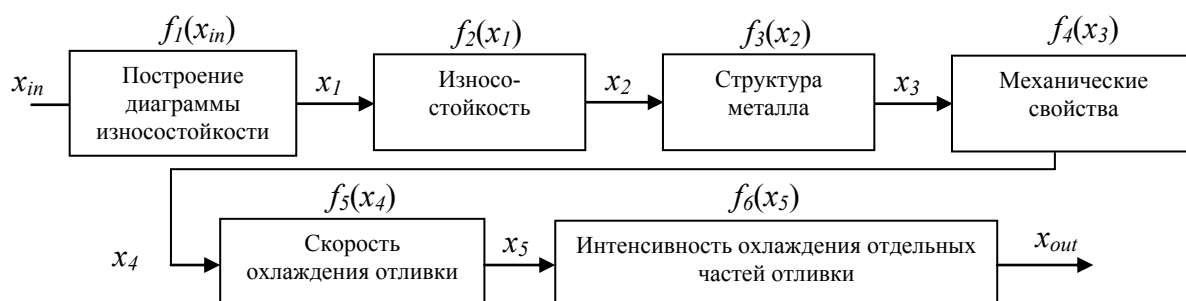
Рассматривается технология упрочнения деталей цилиндро-поршневой группы газового двигателя путем управления физико-механическими свойствами материала в процессе получения заготовки.

The technology of hardening of details of cylinderline group of the gas engine is considered by management of physicomachanical properties of a material during reception of preparation.

Детали цилиндро-поршневой группы газовых двигателей работают в более тяжелых условиях по сравнению с двигателями, работающими на жидких сортах топлива. Объясняется это тем, что у газовых двигателей практически полностью отсутствует смазка в районе верхнего компрессионного кольца, в то время как на поверхности ЦПГ ДВС, работающих на жидком топливе, попадает некоторое количество нефтепродуктов, которое перед их полным или неполным сгоранием обеспечивает более приятные условия смазки и охлаждения. Опыт перевода серийных дизелей марки 6ЧН 25/34 на газовый цикл показал, что втулки цилиндров в районе верхней мертвой точки и поршневые

кольца получили более интенсивный износ по сравнению с дизелями, работающими на жидком топливе.

Для устранения указанных недостатков в чугунных втулках цилиндров газовых двигателей необходимо управлять физико-механическими свойствами материала на всех этапах получения заготовки. Заданная структура, твердость и стойкость к износу в каждой точке рабочей поверхности цилиндрической втулки можно обеспечить путем определенной скорости кристаллизации и охлаждения металла в этой точке. Необходимо рассчитывать свойства отливки, в соответствии со структурой технологического процесса [1].



Для достижения максимальной долговечности и минимальных износов гильз цилиндров и поршневых колец газовых дизелей структура чугуна втулок должна иметь графит пластин-

чатой формы, прямой либо завихренный, металлическую матрицу в виде сорбитообразного перлита, полное отсутствие структурно-свободного феррита и включения цементита в

количестве не более 5 % площади шлифа. Образование той или иной структуры (ферритной, перлитной, цементитной, графитной) зависит от скорости затвердевания и охлаждения отливки. Скорость охлаждения определяется свойствами применяемой литейной формы и толщиной стенки отливки. Для получения серого чугуна с низким содержанием структурно-свободного цементита требуется замедленная скорость кристаллизации отливки, т.е. изложница с минимальной теплопроводностью.

Кристаллизацию заготовки следует вести с наименее низкой скоростью охлаждения для обеспечения выделения графита нужной формы и размера, в требуемом количестве, с оптимальным характером распределения и подавления карбидообразующих процессов. Для этого форму необходимо изготавливать с минимальной теплопроводностью и теплоемкостью.

Применение облицованного кокиля из пористого материала с пониженной теплопро-

водностью способствует замедлению процесса графитообразования по сечению отливки при ее кристаллизации. А для получения износостойкой внутренней поверхности с повышенной твердостью авторы разработали технологию управляемого охлаждения поверхности во вращающейся цилиндрической форме. Есть основания предполагать, что совместное использование этих разработок даст возможность получать в кокиле центробежные отливки с твердостью, которая возрастает от наружной поверхности к внутренней [2, 3, 4]. Это невозможно получить при обычном центробежном литье, но необходимо для повышения износостойкости гильзы цилиндра ДВС.

Разработанная технология термического управления процессами структурообразования на всех стадиях отливки (от подачи металла к форме до выливки заготовки) графически описана кривой 2 на рис. 1.

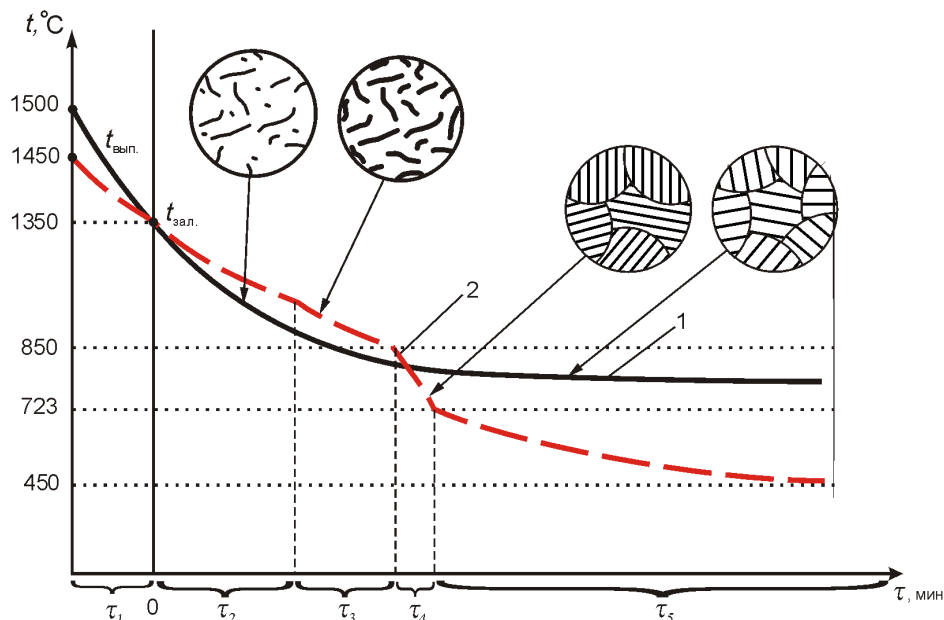


Рис. 1. Термовременные зависимости естественного (1) и управляемого (2) охлаждения центробежных кокильных отливок:

τ_1 – время выдержки чугуна в ковше для обработки; τ_2 – замедленное охлаждение отливки для ускорения процесса графитизации; τ_3 – интенсификация процесса охлаждения для остановки графитизации и стабилизации металлической матрицы; τ_4 – интенсивное охлаждение в эвтектоидном температурном интервале для измельчения перлитной составляющей; τ_5 – выдержка отливок в коробе для снятия термических напряжений; $t_{\text{вып.}}$ – температура выпуска чугуна из печи; $t_{\text{зал.}}$ – температура заливки чугуна из ковша в форму

Скорость охлаждения отливки, а следовательно, и выбор соответствующих технологических мероприятий при получении заданной структуры материала зависят от кривизны вышеуказанной кривой. А именно – от интенсивности охлаждения заготовки во временном интервале $\tau_3 + \tau_4 + \tau_5$ непосредственно зависит твердость чугуна на внутренней поверхности гильзы и определяется твердость металла на наружной ее части. Чем большим будет наклон

кривой 2 на временном участке $\tau_3 + \tau_4 + \tau_5$ (рис. 1), тем более интенсивным будет процесс охлаждения отливки а, соответственно, выше твердость материала, и наоборот. Технологическими методами скорость охлаждения отливки на участке τ_4 можно создать настолько интенсивной (в нашем случае более 30 °C/c), что в структуре материала появляется троостит, а местами и мартенсит. Таких термических воздействий гильза не выдерживает, и отдельные

экспериментальные заготовки разрушались от термических напряжений.

В работе экспериментальным методом исследовались зависимости значений твердостей на рабочей поверхности гильз от различных режимов ускоренного эвтектоидного охлаждения при литье заготовок: в песчано-глинистую форму; в металлический кокиль; в комбинированный кокиль с титановой облицовкой.

В качестве параметра, описывающего количество отобранной у заготовки теплоты, предложено использовать плотность теплового потока (q , кВт/м²), применяющуюся в теории теплопроводности [5, 6]. Охлаждение проводилось: естественной атмосферой; воздушно-жидкостной продувкой; спреерным распыливанием технической воды.

В каждую литейную форму отливали по три типоразмера гильз цилиндров, отличающихся массой и толщиной стенки. При этом их охлаждение осуществлялось различными методами. Показания твердости осреднялись по результатам данных для партии одинаковых заготовок.

За базу отсчета уровня повышения твердости при интенсификации теплообмена было принято значение средней твердости отливки по сечению при естественном охлаждении. В процессе эксперимента интенсивность охлаждения внутренней поверхности отливки повышалась в результате воздействия струйного воздуха с увеличением коэффициента теплопередачи α от 20 Вт/(м²·°C) до 100 Вт/(м²·°C), а также воздушно-жидкостной продувкой и спреерным распыливанием технической воды. При этом плотность тепловых потоков увеличивалась в 5,3 раза и определялась по формуле:

$$q = \alpha (t_{cm} - t_0),$$

где t_{cm} – температура охлаждаемой внутренней стенки отливки, °C;

t_0 – температура охлаждающей среды, °C;

α – коэффициента теплопередачи, Вт/(м²·°C).

Интенсификация охлаждения внутренней стенки отливки жидкостным спреерным распыливанием воды определялась по формуле

$$G = m/S \cdot \tau,$$

где G – плотность орошения поверхности, кг/(м²·с);

m – масса подаваемой воды, кг;

S – орошаемая площадь поверхности, м²;

τ – время орошения, с.

Плотность тепловых потоков:

$$q = m \cdot c \cdot (t_{cm} - t_0) + G \cdot r,$$

где r – теплота парообразования, кВт/кг;

c – удельная теплоемкость, Вт/(м²·°C).

Отливки гильз цилиндров после охлаждения проверялись на твердость внутренней НВ_{вн} и наружной НВ_н поверхностей. Полученные значения твердости определялись по сечению и сравнивались со значением базовой твердости при естественном охлаждении. По предварительной оценке результатов исследований, увеличение твердости отливок при воздушно-жидкостной продувке не превышает 5...7 %, независимо от материала литейной формы. Очевидно, при такой степени интенсификации тепловых потоков определяющая роль в теплообмене принадлежит кокилю.

Схемы охлаждения внутренней и наружной поверхностей заготовок (при различных тепловых напорах), размеры отливок и изложниц представлены на рисунках 2а, 2б, 2в для разных литейных форм.

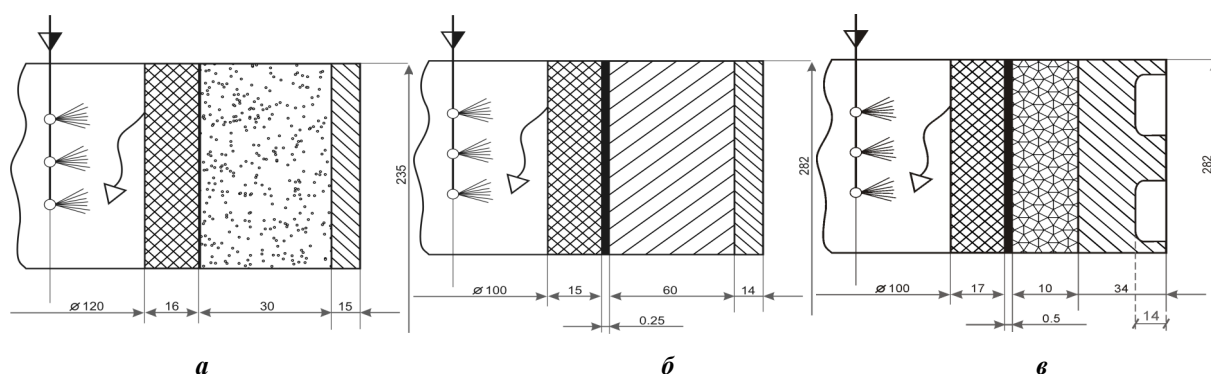


Рис. 2. Схемы охлаждения внутренней и наружной поверхностей заготовок (при различных тепловых напорах), размеры отливок и изложниц:
а – земляная форма; б – металлическая форма; в – изложница с титановой облицовкой

Для дальнейшей обработки абсолютные величины всех параметров переводились в относительные единицы по базовому значению.

Полученные данные для металлического кокиля и изложницы с песчано-глинистой смесью представлены в табл. 1 и 2.

Таблиця 1

Зависимость средней твердости по сечению отливки от интенсивности теплоотвода при литье в металлический кокиль

Величина	Охлаждение						
	Естествен.	Воздушно-струйное				Водяное	
		при $\alpha = \dots \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$				при $G = \dots \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	
	20	47	70	105	0,136	0,17	0,227
$q_{\text{отп}}, \text{кВт}/\text{м}^2$	13	30,5	45,5	68,3	306,9	383,7	512,3
$q_{\text{отн}}$	1	2,3	3,5	5,3	23,6	29,5	39,4
$\text{HB}_n/\text{HB}_{\text{вн}}$	217/207	217/209	217/217	221/217	229/221	252/241	269/252
$\text{HB}_{\text{ср}}$	212	213	217	219	225	247	260
$\text{HB}_{\text{отн}}$	1	1,005	1,02	1,03	1,06	1,16	1,22

Таблиця 2

Зависимость средней твердости по сечению отливки от интенсивности теплоотвода при литье в песчано-глинистую форму

Величина	Охлаждение								
	Естествен.	Воздушно-струйное				Водяное			
		при $\alpha = \dots \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$				при $G = \dots \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$			
	20	47	70	105	0,248	0,29	0,316	0,36	0,40
$q, \text{кВт}/\text{м}^2$	13	30,5	45,5	68,3	559,7	654,2	713,2	812,5	899,6
$q_{\text{отн}}$	1	2,3	3,5	5,3	43,0	50,3	54,8	62,5	69,2
$\text{HB}_n/\text{HB}_{\text{вн}}$	217/197	217/202	217/207	217/211	229/217	241/229	252/241	260/252	277/274
$\text{HB}_{\text{ср}}$	207	209	212	214	223	235	246	256	275
$\text{HB}_{\text{отн}}$	1	1,01	1,02	1,03	1,07	1,13	1,19	1,31	1,34

Существенно изменить твердость чугуна возможно интенсивным воздействием на внутреннюю поверхность отливки водным орошением. Однако эксперимент показал: чтобы повысить среднюю твердость по сечению на 10 HB, при одинаковой толщине отливок, заготовку в песчано-глинистой форме охлаждают на 30...35% интенсивнее, чем в металлическом кокиле. Это увеличивает расход теплоносителя и время охлаждения для достижения одинакового результата по твердости. Зависимости относи-

тельной твердости отливки от плотности теплового потока для различных уровней интенсификации охлаждения построены в логарифмической системе координат (рис. 3, 4).

Очевидно, что более высокая твердость чугуна до 300...320 HB получается при искусственном охлаждении в металлическом кокиле, но отсутствие отбела при термообработке обеспечивает литье в песчано-глинистую форму.

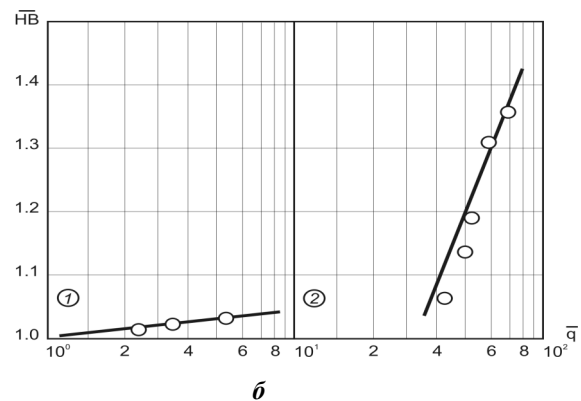
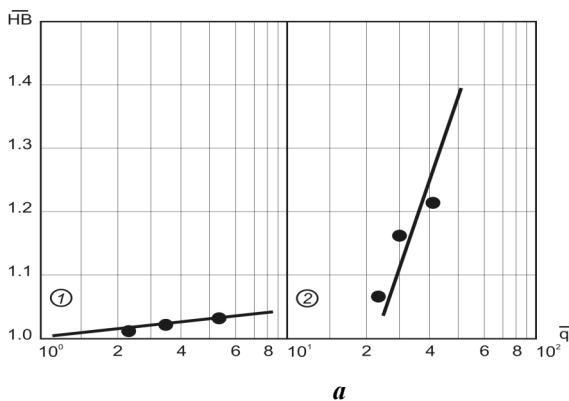


Рис. 3. Зависимость твердости гильзы от теплового потока внутри отливок, полученных:

а) в металлическую изложницу, б) в песчано-глинистую форму;

1 – воздушно-жидкостная продувка; 2 – спрейное распыливание воды

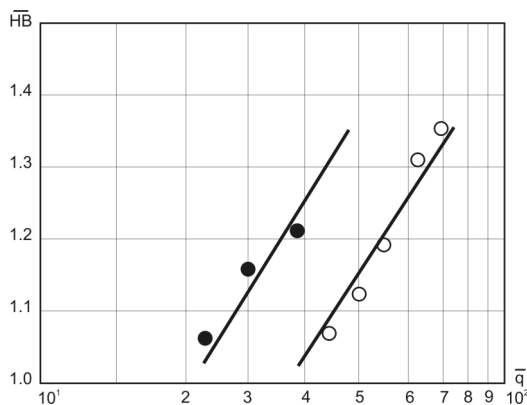


Рис. 4. Зависимость средней твердости по сечению гильзы от теплового потока на внутренней поверхности отливок (охлаждение водой):

● – металлическая изложница; ○ – песчано-глинистая форма

Для наиболее эффективного и малозатратного повышения твердости на внутренней поверхности отливки в качестве материала кокиля целесообразно использовать материалы, имеющие теплопроводные свойства, средние между песчано-глинистой формой и металлом. Эффективным является совместное использование комбинированного кокиля с внутренней титановой вставкой и воздушно-жидкостного охлаждения, которое включает: подстуживание заготовки от температуры 950...900 °С, воздухом давлением 0,25...0,30 МПа в течение 25 сек и последующее охлаждение внутренней поверхности гильзы жидкостью в зоне ВМТ. Необ-

ходимая плотность теплового потока – 950 кВт/м², время охлаждения – 25 сек (рис. 5).

Интересно было проследить следующую зависимость: при увеличении теплового потока на внутренней стороне отливки ее твердость возрастает, с одновременным увеличением наружной твердости. А при охлаждении внутренней поверхности с тепловым потоком более 1000 кВт/м² ее внутренняя твердость начинает превышать наружную. В виде графической зависимости кривые роста внутренней и наружной твердостей для различных литейных форм представлены на рис. 5.

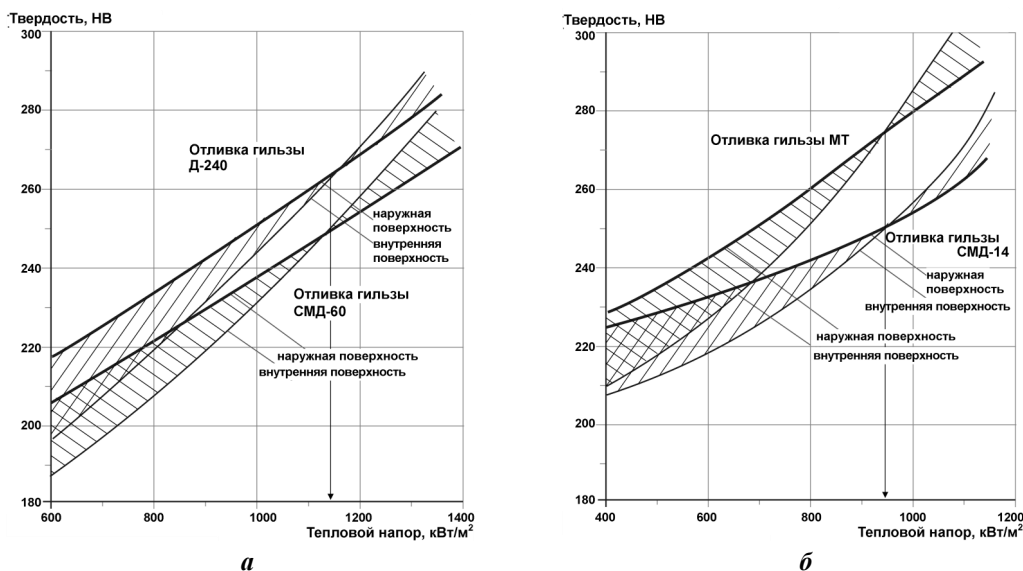


Рис. 5. Зависимость твердости на внутренней и наружной поверхностях от теплового потока внутри отливки:

а) песчаная форма; б) металлическая форма

При определенной интенсивности теплоотвода твердости на внутренней и наружной поверхностях отливки уравниваются, образуется одинаковая твердость по сечению. Для получения отливок с обратным градиентом твердости достаточно создать плотность теплового потока на внутренней поверхности

отливки, превышающую показания, соответствующие точкам пересечения графиков внутренней и наружной твердостей. Например, для получения обратного градиента твердостей в комбинированном титановом кокиле необходимо создать плотность теплового потока, превышающую 900 кВт/м² (рис. 6).

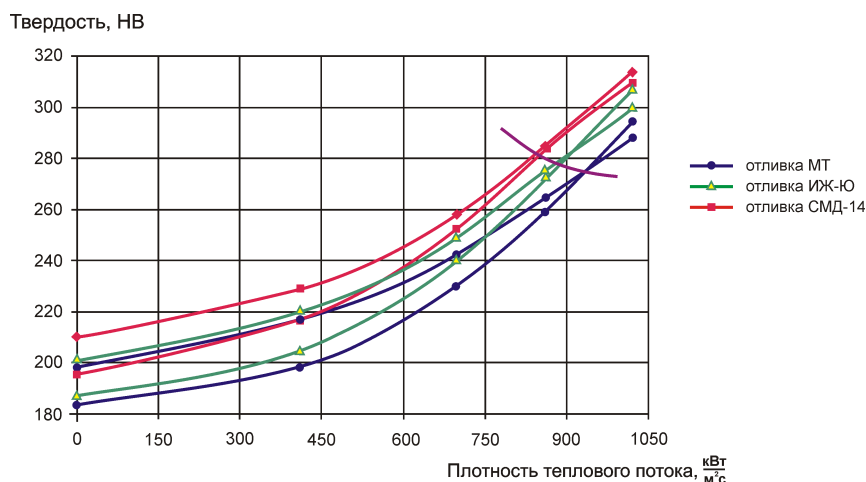


Рис. 6. Залежності твердостей на внутрішній і зовнішній поверхнях отливок від щільності теплового потоку (комбінований титановий кокиль)

Если через точки встречи внутренней и наружной твердостей для различных типоразмеров гильз провести линию, то получим ряд значений плотностей теплового потока, превышение которых будет приводить к получению в отливках обратного градиента твердости. А

отобразив эти кривые на одном графике (рис. 7), получим плоскость значений плотностей тепловых потоков, которые соответствуют точкам встречи твердостей при ускоренном охлаждении.

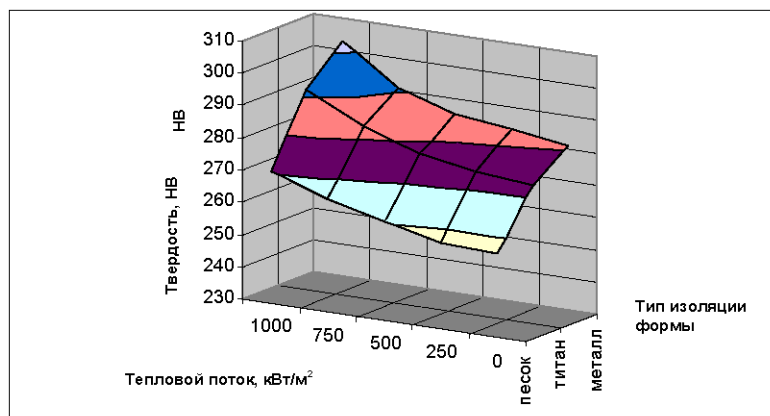


Рис. 7. Значення щільностей теплових потоків, які відповідають точкам зустрічі твердостей при ускореному охолодженні для різних форм

Из графика (рис. 7) можно также определить получаемое значение твердости по сечению при заданном тепловом потоке, которое будет соответствовать заготовке определенной массы при ее отливке в выбранную литейную форму (песчано-глинистая форма, металлический кокиль, комбинированный титановый кокиль). Очевидно, что наиболее интенсивное охлаждение необходимо проводить для массивных отливок при их литье в формы с меньшей теплопроводностью (песчано-глинистая форма).

Следует отметить, что исследования режимов искусственного охлаждения и график (рис. 7) полностью подтверждают предположения о том, что тепловые свойства спрессованного пористого

титана закладывались как промежуточные между параметрами чугунового кокиля и песчаной формы. Так, для получения эффекта обратного градиента твердости по сечению заготовку из комбинированного кокиля необходимо охлаждать более интенсивно, чем отливку в песчаной изложнице, но с меньшей скоростью, чем обычную кокильную.

Исследования показали, что при центробежном кокильном литье возможно на практике получать отливки не только с улучшенной структурой и повышенной твердостью, но и отливать заготовки с превышением твердости на внутренней поверхности цилиндрической отливки в сравнении с наружной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andreev V., Klimenko L., Kondratenko Y., Dykhta L. Regulation of the structure formations of the spun casting as to cast-iron cylinder liner of the transport engines // Archives of foundry. – Katowice; Gliwice: Foundry Commission Polish Academy of Science, 2003. – Vol. 3. – №7. – P. 41-45.
2. Андреев В.И. Алгоритм технологического процесса изготовления гильз цилиндров с повышенными износостойкими свойствами // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – Т. 68. Вип. 55. Техногенна безпека. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2007. – С. 57-61.
3. Андреев В.И., Клименко Л.П., Дыхта Л.М., Прищепов О.Ф. Центробежная отливка гильз цилиндров ДВС с обратным градиентом твердости по сечению // Двигатели внутреннего сгорания: Научно-технический журнал. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2004. – № 2 (5). – С. 126-130.
4. Андреев В.И., Клименко Л.П., Прищепов О.Ф. Теоретические основы и технологии создания узлов трения с переменной износостойкостью // Сборник докладов Международного конгресса “Механика и трибология транспортных систем – 2003”. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2003. – Т. 1. – С. 402-405.
5. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1978. – 178 с.
6. Литье в кокиль / Под ред. А.И. Вейника. – М.: Машиностроение, 1980. – 415 с.

Надійшла до редколегії 21.04.08