

тельно приклеивалась к стеклопластику на эпоксидном клее холодного отверждения.

Окончательная сборка комплектующих вытяжной системы осуществлялась с помощью клея холодного отверждения для выполнения неразъемных соединений и специальных герметиков для выполнения разъемных соединений.

В настоящее время опытные образцы изделий проходят апробацию в производственных условиях с целью определения их ресурса.

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод о том, что правильный подбор исходных материалов, выбор оптимальной конструкции стеклопластикового изделия, применение современных технологий изготовления и оптимальных режимов отверждения стеклопластика позволяют изготавливать стеклопластиковые изделия, отвечающие требованиям химической промышленности.

1. Воробьева Г. Я. Химическая стойкость полимерных материалов. — М.: Химия, 1981.

2. Конструкционные стеклопластики. — М.: Химия, 1979.
3. Маллинсон Дж. Применение изделий из стеклопластика в химических производствах: Пер. с англ. / Под ред. В. И. Альперина, С. М. Перлина. — М.: Химия, 1973.
4. Семенова Г. П., Павлов В. В. // Механика полимеров.— 1970.—№ 4.—С. 585.
5. Справочник по пластическим массам // Под ред. В. М. Катасева, В. А. Попова, Б. И. Сажина. — М.: Химия, 1975.— Т. II.

GLASS-REINFORCED PLASTICS PRODUCTS FOR CHEMICAL INDUSTRY

A. Sorenkov

A sufficiently complicated set of requirements is specified to the products operated in chemical production. They are as follows: the resistance to chemical corrosive media, leak-proofness, fire-resistance, static electricity protection, and necessary strength. The products made of epoxy glass-reinforced plastics with special service properties meet the present requirements. In the present investigation the resistance to chemical corrosive media was ensured by epoxy resin modification.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ЖИДКОФАЗНОМ СПЕКАНИИ ПОРОШКОВОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

© П. А. Мироненко, Л. Л. Щеглова

Дніпропетровський національний університет

Вивчено перерозподіл легуючих елементів при рідиннофазовому спіканні порошкової нержавіючої сталі. Установлено закономірності зміни структури матеріалів на її основі, зв'язані з перерозподілом, їхній вплив на фізико-механічні властивості матеріалів.

В качестве материала для изготовления узлов и деталей для ракетно-космической техники широко применяются нержавеющие стали. В работе изучена возможность получения нержавеющих сталей на основе металлических порошков, которые по износстойкости, жаростойкости, жаропрочности не только не уступают традиционным нержавеющим сталям, но и превосходят их.

В качестве основы использовали порошок нержавеющей стали X18H15, полученный методом гидриднокальциевого восстановления следующего химического состава, (%) по массе): Fe — осн.; Cr — 17.8; Ni — 13.51; Ti — 0.01; C — 0.06; Si — 0.04; Mn — 0.05; S — 0.007; P — 0.007; Ca — 0.12; O₂ — 0.33; H₂O — 0.023. Гранулометрический состав изучаемого порошка приведен в таблице.

Форма частиц порошка — неправильная с развитым рельефом. Насыпная плотность порошка составила 2.73 т/м³, текучесть — 32 с.

После прессования с удельным давлением 700 МПа плотность заготовок — 6.4 т/м³ (теоретическая плотность — 7.87 т/м³).

Так как при спекании спрессованных заготовок и деталей из порошковых нержавеющих сталей X18H15 и др. возникает опасность их окисления в

Гранулометрический состав порошка марки X18H15 (содержание фракций, % по массе)

-200 мкм	-200+100 мкм	100+63 мкм	-63+50 мкм	-50+40 мкм	-40 мкм
5	41	31	8	4	10

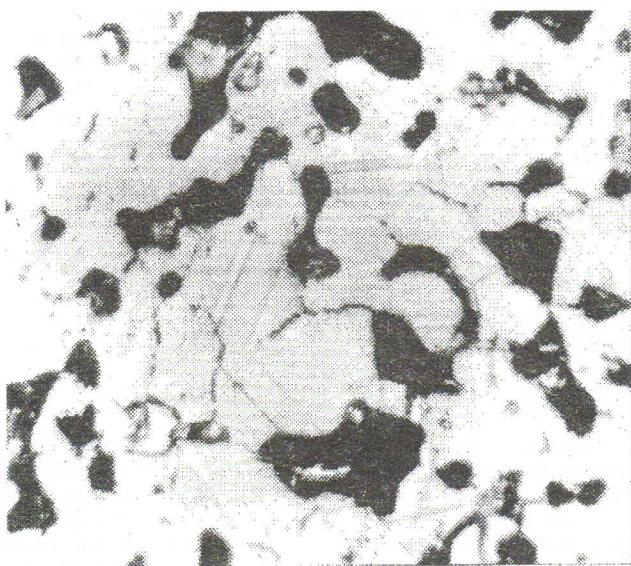


Рис. 1. Микроструктура спеченной нержавеющей стали X18H15, $\times 300$

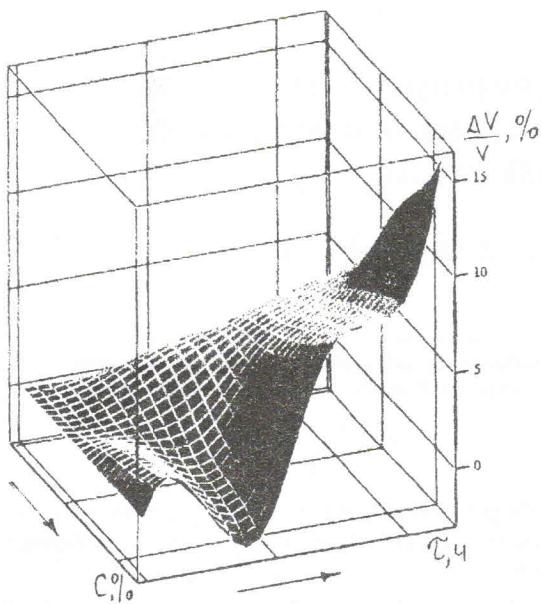
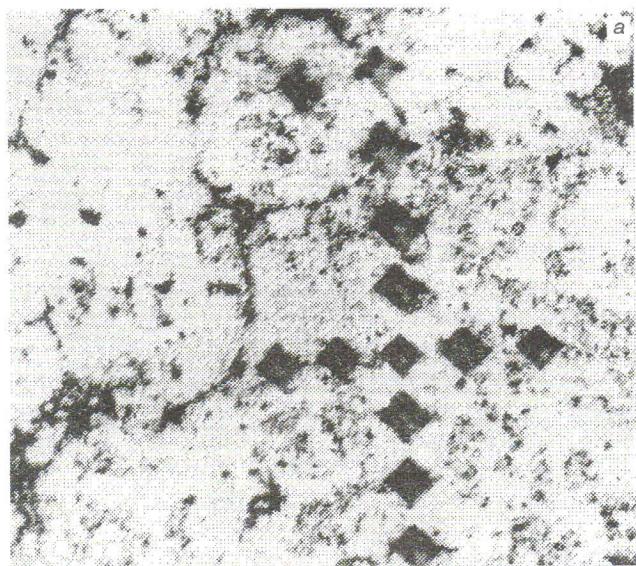


Рис. 2. Зависимость усадки от состава и длительности спекания при $T = 1270$ °С материала на основе нержавеющей стали X18H15

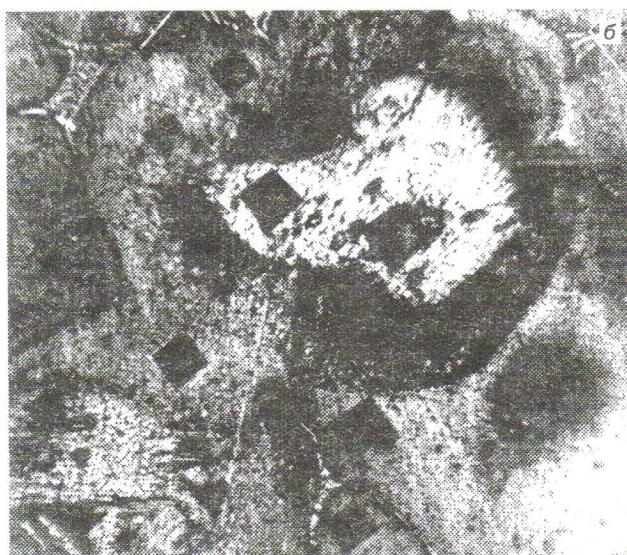


Рис. 3. Изменение микротвердости при перераспределении легирующих элементов между Ni-Cr-Si-B-лигатурой и аустенитом стали X18H15: а — $\times 150$, б — $\times 450$

связи с наличием больших количеств хрома, спекание проводили в вакууме, поскольку последний обеспечивает необходимые условия для безокисильного спекания, особенно при низких температурах (500—1000 °С), когда возникает опасность окисления хрома, образующего прочные оксиды

Cr_2O_3 . Во многих случаях эти явления не устраняются при спекании прессовок в защитных атмосферах, так как защитные газы сами сорбируются, а водород, кроме того, восстанавливая оксиды на поверхности и внутри частиц, образует пары воды. При вакуумном спекании легче проходят дегазация

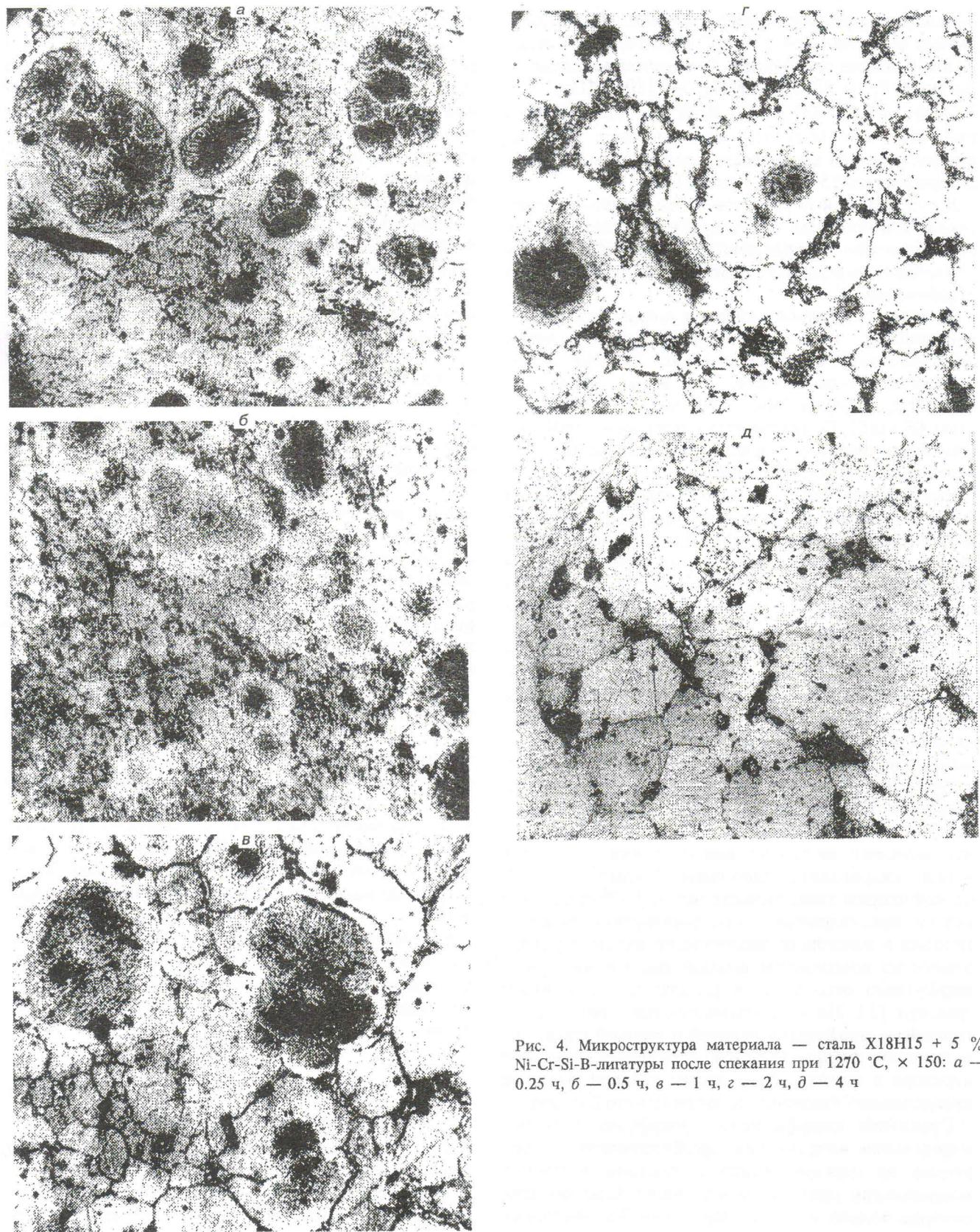


Рис. 4. Микроструктура материала — сталь X18H15 + 5 % Ni-Cr-Si-V-литгатуры после спекания при 1270 °C, $\times 150$: а — 0.25 ч, б — 0.5 ч, в — 1 ч, г — 2 ч, д — 4 ч

металлов и удаление легких примесей. После вакуумного спекания при 1300 °С в течение 1 ч сталь X18H15 имела следующие механические характеристики: σ_b — 1250 МПа, $\sigma_{0.2}$ — 1100 МПа, δ — 7 %, ψ — 9 %, КС — 425 КДж/м², НВ68. Усадка при спекании ($\Delta V/V$) составила всего 4—5 %. Микроструктура стали после спекания — аустенит с пористостью 15—16 % (рис. 1).

Из-за большой пористости и относительно невысоких механических характеристик деталей на основе порошка нержавеющей стали X18H15, их применимость в деталях ответственного назначения ограничена.

С целью получения высоких механических характеристик, износостойкости, жаростойкости и жаропрочности в порошок стали X18H15 путем механического смешивания дополнительно вводили 2,5—10 % порошка Ni-Cr-Si-V лигатуры с твердостью 65 HRC. Ее температура плавления 1040 °С, что обеспечивает образование жидкой фазы в интервале температур спекания.

Выполненные исследования показали, что усадка (рис. 2) в зависимости от состава и режима спекания материала изменяется нелинейно. На первой стадии спекания наблюдается рост порошковых заготовок. Указанное явление связано с перераспределением легирующих элементов в процессе жидкотвердого спекания.

Поскольку при жидкотвердом спекании происходит образование сплава, один из компонентов которого находится в жидким состоянии, для понимания процессов, которые протекают при спекании, принципиально важное значение имеет вопрос о механизме диффузационного смешения, взаимодействия, твердой и жидкой фаз. Однако несмотря на то, что проблема диффузационного взаимодействия между твердым и жидким металлами имеет первостепенное значение не только при спекании, но и при пайке, сваривании, нанесении покрытий и др., четкой теории этого явления нет [3]. Общепринято только предположение, что растворение твердого металла в жидким осуществляется путем перехода атомов из поверхности твердой фазы в жидкую и диффузного отвода их в расплав от межфазной границы [1]. Но если сравниваются только коэффициенты диффузии в твердой и жидкой фазах, то в неявной форме делается допущение, что при переходе в жидкую фазу атомы твердой фазы не преодолевают никакого энергетического барьера.

Сравнение коэффициентов диффузии с целью определения направления преобладающего потока атомов на границе между металлами в момент установления контакта между ними было бы правомерно только в том случае, если бы компонент

твердой фазы находился в жидким состоянии. Однако, чтобы перевести твердый металл в жидкое состояние, нужно затратить довольно большую энергию [3], которая состоит из двух частей: первая определяется произведением теплоемкости металла на разность между температурой его плавления и температурой опыта, вторая — теплотой плавления твердой фазы. Сумма этих энергий и характеризует наличие энергетического барьера, который препятствует свободному переходу атомов твердой фазы в жидкую.

Соответственно термодинамическим оценкам [2], при взаимной диффузии двух неограниченно растворимых металлов в твердом состоянии выигрыш в свободной энергии получается больше, если в соседнюю решетку пересекает атом, который принадлежит металлу с более слабыми межатомными связями. Перенос указанной зависимости на случай взаимодействия твердой и жидкой фаз приводит к выводу, что она должна начинаться из возникновения преобладающего диффузационного потока атомов из жидкого металла в твердый. Проникновение атомов из расплава изменяет состав твердой фазы так, что температура плавления ее поверхностного слоя по сравнению с матрицей и исходным состоянием будет сниженной. Таким образом, уменьшение межатомных сил сцепления в решетке при наличии атомов второго компонента вызывает снижение энергетического барьера перехода атомов твердой фазы в расплав.

Такой механизм перехода твердого металла матрицы X18H15 в контактирующий с ним жидким металлом Ni-Cr-Si-V лигатуры в процессе контактного плавления подтверждается тем, что на поверхности твердого металла нержавеющей стали, который прилегает к жидкой фазе, по данным измерений микротвердости (рис. 3, а, б) обнаруживается область твердых растворов. При этом концентрация второго компонента на границе раздела фаз близка к границе насыщения сплава при данной температуре.

Математическая обработка результатов измерения микротвердости показала, что изменение микротвердости между лигатурой и основным металлом удовлетворительно аппроксимируется выражением

$$H_\mu = H_{\mu 0} + A \exp(-x/t);$$

где $H_{\mu 0}$ — начальная микротвердость аустенита; H_μ — текущее значение микротвердости; x — расстояние от края частицы лигатуры до точки измерения микротвердости; A, t — постоянные.

Увеличение длительности спекания ведет к дальнейшему перераспределению легирующих элемен-

тов, выравниванию значений микротвердости по сечению спекаемого материала.

Перераспределение легирующих элементов при жидкофазном спекании порошковой нержавеющей стали X18H15 можно наблюдать и с помощью металлографии (рис. 4, а—д). Исследования показали, что после образования расплава происходит растворение частиц лигатуры в основном металле нержавеющей стали (рис. 4, а, б). Дальнейшее увеличение длительности изотермической выдержки приводит к дефрагментации микроструктуры (рис. 4, в), что связано с распространением жидкой фазы по дефектам кристаллической структуры. Развитие процесса «растворение — осаждение» приводит к формированию крупнозернистой полиздрической структуры (рис. 4, г, д).

Таким образом, перераспределение легирующих элементов при жидкофазном спекании порошковой нержавеющей стали X18H15 с добавлением 2,5—10 % Ni-Cr Si-B лигатуры способствует повышению плотности материала, формирует структуру, которая обеспечивает не только повышение износостойкости, но и жаростойкости, жаропрочности. Одновременно предел прочности повышен до $\sigma_b \geq 400$ МПа.

Выполненные исследования дают возможность

контролировать технологический процесс получения материалов на основе порошка нержавеющей стали X18H15 и, следовательно, их комплекс физико-механических свойств.

1. Закастельская О. А., Тихомирова О. И. Особенности формирования фаз при контакте жидкых сплавов галлия и индия с медью: Адгезия расплавов и пайка материалов. — Киев: Наукова думка, 1984.—№ 12.—С. 46—48.
2. Савицкий А. П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами. — Новосибирск: Наука, 1991.—184 с.
3. Пинес Б. Я., Гегузин Я. Е. Самодиффузия и гетеродиффузия в неоднородных пористых тела // Журн. техн. физики.—1953.—23, № 9.—С. 1559—1572.

REDISTRIBUTION OF ALLOYING ELEMENTS IN LIQUID-PHASE SINTERING OF POWDER CORROSION-PROOF STEEL

P. O. Myronenko, L. L. Shcheglova

The redistribution of alloying elements is investigated in liquid-phase sintering of powder corrosion-proof steel. We established laws of the change of the structure of the materials based on the powder corrosion-proof steel concerning the redistribution. We studied the influence of these laws on physical and mechanical properties of the materials.

УДК 521.6:629.783(477)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПО ДАННЫМ ВНЕШНЕТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В РАСЧЕТАХ ПАРАМЕТРОВ СТАБИЛЬНОЙ АТМОСФЕРЫ

© А. В. Голубек, И. А. Емельянова, П. Г. Хорольский

Державне конструкторське бюро «Південне»

Ставиться задача та досліджуються можливості покращення точності визначення балістичного коєфіцієнта для космічних об'єктів, що рухаються у верхніх шарах атмосфери. Дослідження провадились на прикладі даних NORAD для космічного апарату «Січ-1» і геліофізичних параметрів, вільно поширюваних в інтернеті.

Одним из определяющих параметров, влияющих на точность прогноза орбит космических объектов (КО), движущихся в верхних слоях атмосферы, является баллистический коэффициент (B).

Поскольку с уменьшением высоты полета плотность атмосферы увеличивается, то увеличивается влияние B на траекторию полета КО и одновремен-

но повышается влияние его погрешности на точность определения параметров движения.

Кроме того, необходимо также отметить, что при уточнении начальных условий движения КО по результатам радиоконтроля орбиты B может выступать в качестве согласующего коэффициента между значениями плотности динамической модели