

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.763. 02

КИНЕТИКА ПРОПИТКИ НЕСПЕЧЕННОГО КАРБИДНОГО КАРКАСА
КОРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛЬЮ X18H10T*Гуревич Ю.Г., д.т.н., профессор кафедры «Энергетика и технология металлов» (yg@rambler.ru)***Курганский государственный университет**
(640000, Россия, Курганская область, г. Курган, ул. Гоголя, 25)

Аннотация. Установлена оптимальная пористость карбидного каркаса 44 – 52 %. Исследована кинетика процесса пропитки неспеченного карбидного каркаса из карбида титана сталью X18H10T и экспериментально найдена зависимость скорости пропитки от расстояния от поверхности контакта стали с карбидным каркасом. Получена зависимость времени пропитки от высоты прессовки. Определена закономерность распределения зерен карбида титана по высоте прессовки после пропитки и показана ее зависимость от перекристаллизации карбидных зерен через жидкую фазу.

Ключевые слова: кинетика, карбидный каркас, пропитка, сталь, пористость, размеры зерен.

Одним из эффективных способов изготовления деталей из карбидостали TiC–X18H10T является способ пропитки неспеченного карбидного каркаса методом наложения стальных отходов на карбидную прессовку [1, 2]. Одно из преимуществ этого способа состоит в том, что прессовка после пропитки практически полностью сохраняет свои размеры. В связи с этим изучение кинетики пропитки неспеченного карбидного каркаса имеет не только теоретическое, но и практическое значение.

Пропитку осуществляли контактным способом путем укладки стали на прессовку карбида титана. Необходимую массу стали для пропитки рассчитывали по уравнению

$$m_{\text{ст}} = \frac{\rho V \theta}{100},$$

где $m_{\text{ст}}$ – масса стали, кг; ρ – плотность, кг/м³; V – объем изделия, м³; θ – пористость, %.

Объем применяемых для пропитки отходов нержавеющей стали превышал на 10 – 20 % объем пор карбидного каркаса.

Нагрев прессовок для пропитки производили в печи сопротивления с графитовым нагревателем в контейнерах. Контейнеры изготавливали из низкопористого графита, обеспечивающего необходимую равномерность распределения температуры по всему объему контейнера. При продувке такого контейнера очищенным аргоном в нем поддерживалась слегка восстановительная атмосфера.

Для удобства расположения прессовок в контейнере использовали графитовые стаканчики. Предотвращение окисления образцов в период нагрева и охлаждения осуществляли защитными засыпками. В качестве засыпок использовали смесь, состоящую из 90 – 95 % глинозема (оксида алюминия) и 5 – 10 % порошка гра-

фита. Перед употреблением смесь просушивали и прокаливали.

На дно графитового стаканчика насыпали слой смеси глинозема с графитом толщиной 5 – 10 мм, на которую помещали карбидную прессовку, а на нее пропитывающий сплав. Оба материала также засыпали смесью глинозема с графитом. Стаканчики с образцами загружали в контейнер, который закрывался крышкой и помещался в нагревательную печь.

Предварительными экспериментами было установлено, что при температурах 1450 °С и ниже жидкотечность стали недостаточна и мелкие поры не заполняются расплавом. При температурах пропитки выше 1490 °С наблюдалось разъедание карбидного каркаса в верхней части прессовки. Таким образом, оптимальной температурой пропитки карбидного каркаса, обеспечивающей 100 % пропитки, практически без остаточной пористости (остаточная пористость 0 – 3,2 %), является температура 1460 ± 10 °С. При этой температуре изучалась кинетика пропитки неспеченных карбидных каркасов нержавеющей сталью X18H10T.

Прессовки из карбида титана в форме призмы сечением 16×16 мм и высотой 20 мм получали двухсторонним прессованием. Для экспериментов отбирались образцы с равномерно распределенной пористостью. На торец прессовок помещали стальные отходы, образцы размещали в контейнеры и загружали в печь сопротивления с атмосферой очищенного аргона на 5, 8, 12 и 15 мин. После пропитки образцы быстро охлаждали в масле и измеряли высоту пропитанного слоя прессовки.

Многочисленные измерения пропитанных слоев прессовок карбида титана показали, что фронт продвижения жидкого металла не является строго горизонтальным, если пористость прессовок менее 40 %. В разных точках поверхности прессовки наблюдалась значительная разница между высотой пропитки, которая достигала

4 мм. Возможно, что при такой пористости часть пор получается закрытой. Вследствие этого получить конкретные результаты по кинетике пропитки образцов с пористостью $37 \pm 3 \%$ не удалось.

При пропитке карбидных прессовок с пористостью $44 \pm 1,8 \%$ и $52 \pm 2,2 \%$ разница между высотой пропитки по поперечному сечению образцов составляла 1,0 – 1,5 мм. Поэтому такая пористость карбидных каркасов была принята за оптимальную.

В связи с тем, что прессовки карбида титана с пористостью $44 \pm 1,8 \%$ и $52 \pm 2,2 \%$ мало отличались друг от друга, для математической обработки использовали данные по кинетике пропитки карбидных каркасов с пористостью $44 \pm 1,8 \%$, которые приведены в табл. 1.

Известно, что длина l пропитанного слоя пористого образца сравнительно большой толщины определяется по уравнению [3]

$$l^2 = \left(\frac{\sigma \cos \Theta r}{2K\eta} \right) \tau,$$

где σ – поверхностное натяжение стали; Θ – краевой угол смачивания; r – средний радиус капилляра; η – вязкость жидкой стали; K – константа, зависящая от поперечного сечения образца; τ – время.

Принимая σ , Θ , r , K и η постоянными при данной температуре для данной системы получим, что функция $l^2 = F(\tau)$ должна быть прямолинейной. Как следует из рис. 1, показатели скорости проникновения стального расплава в пористую карбидную прессовку, полученные экспериментальным путем, достаточно хорошо подчиняются такой зависимости. Математической обработкой экспериментальных данных получено следующее уравнение, соответствующее графическому виду функции, показанной на рис. 1:

$$l^2 = (13,08 \pm 0,3)\tau.$$

Средняя скорость пропитки составляет $\frac{dl}{d\tau} = \frac{6,5}{l}$.

Принимая $l^2 = 13\tau$, рассчитано время пропитки неспеченного карбидного каркаса пористостью 44 – 52 %

Таблица 1

Параметры пропитки карбидного каркаса пористостью $\theta = 44 \pm 1,8 \%$ сталью X18H10T при $1460 \pm 10^\circ\text{C}$

τ , мин	l , мм	l^2 , мм ²
0	0	0
5	8,0	64,00
8	10,5	110,25
12	12,5	156,25
15	14,0	196,00

сталью X18H10T в зависимости от его высоты l . При $l = 3, 5, 8, 10, 12, 15, 20$ мм, время пропитки составляет 2, 3, 7, 9, 12, 18, 32 мин.

Таким образом, при $l \leq 12$ мм расчетная скорость пропитки $\frac{dl}{d\tau} \cong 1$ мм/мин, при $l = 12 - 20$ мм

$$\frac{dl}{d\tau} \cong 0,75 \text{ мм/мин.}$$

Известно, что взаимодействие карбидов со стальной связкой в период пропитки оказывает решающее влияние на размер зерен карбидной фазы. Процессы укрупнения карбидных зерен путем коалесценции соприкасающихся друг с другом частиц, суспендированных в жидкости, и диффузионного роста карбидов через жидкую фазу зависят от продолжительности контакта карбидов с расплавом. Поэтому рост зерна карбидной фазы можно значительно уменьшить, если процесс пропитки ограничить минимально возможным временем. С этой точки зрения представляет интерес проанализировать состояние карбидных зерен и металлической связки в зависимости от времени их контакта при температуре пропитки.

На рис. 2 представлены фотографии микрошлифов разных зон образца размером 16×16 мм и высотой 20 мм, пропитанного на глубину 14 мм. Пористость неспеченного карбидного каркаса $44 \pm 1,8 \%$. Продолжительность пропитки 15 мин.

В табл. 2 дан количественный анализ состояния структурных составляющих карбидостали на различных вертикальных сечениях образца. Как видно из табл. 2, по мере увеличения глубины пропитки образца количество металлической связки уменьшается, а содержание карбидной фазы увеличивается. Если в верхних зонах образца содержание карбидной фазы составляет 51,3 – 52,3 %, а металлическом связки 48,8 – 47,7 %, то в самой нижней, пропитанной сталью

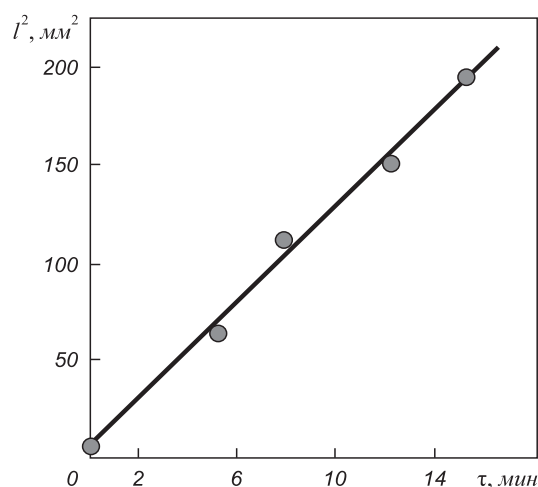


Рис. 1. Зависимость глубины проникновения расплава в пористую прессовку карбида титана от времени ($\theta = 44 \pm 1,8$)

Fig. 1. The dependence of the depth of penetration of melt into the porous compact of titanium carbide from time ($\theta = 44 \pm 1,8$)

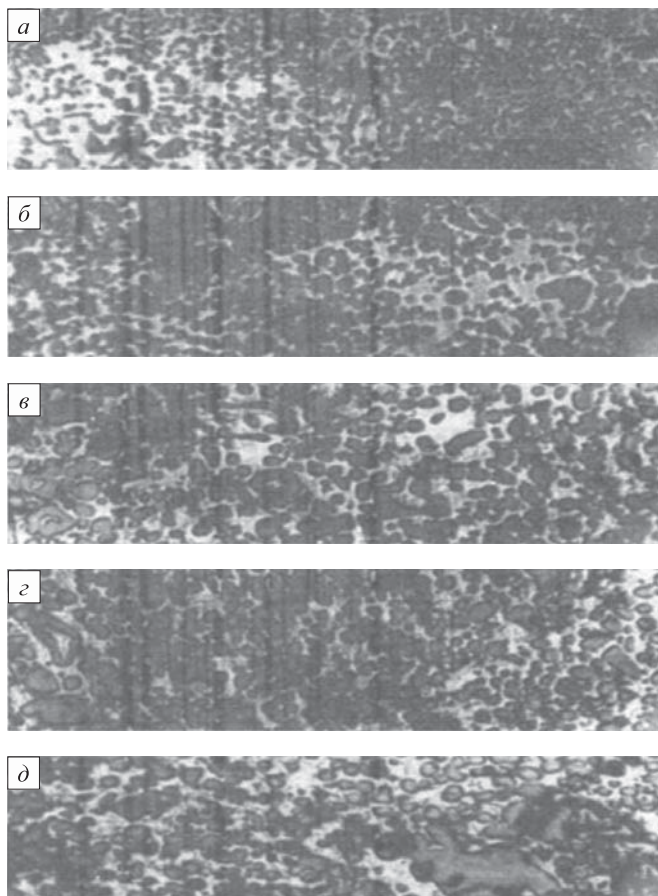


Рис. 2. Микроструктуры разных зон образца высотой 20 мм, пропитанного на глубину 16 мм. Расстояние от верхнего торца, мм: а – 0; б – 4; в – 8; г – 12; д – 15

Fig. 2. Microstructure of different zones of the sample with height of 20 mm, impregnated for a depth of 16 mm. The distance from the upper end, mm: а – 0; б – 4; в – 8; г – 12; д – 15

X18H10T зоне образца содержание карбидной фазы 71,2 %, а металлической связки 28,8 %.

Чем дальше расположена зона образца от границы первоначального контакта карбидного каркаса со сталью, тем мельче в ней карбидные зерна и стальные прослойки, тем больше ее твердость [4].

Все приведенные данные свидетельствуют о том, что карбид титана достаточно быстро растворяется в жидкой стали X18H10T. По мере пропитки стальной расплав все больше и больше насыщается карбидами титана, которые после кристаллизации стали снова выделяются.

С другой стороны, чем глубже проникает расплав в образец и чем больше продолжительность контакта стального расплава с карбидным каркасом, тем больше сталь насыщается карбидами титана и тем меньше она способна их растворять в дальнейшем. По этим причинам в нижних слоях образца зерна тугоплавкой фазы растворяются мало, а после кристаллизации в этих зонах выпадают мелкие частицы карбидов титана из стальной связки. Таким образом, в нижних зонах образца диффузионный рост карбидных зерен не наблюдается, а их коалесценция также невелика. Это можно объяснить небольшой продолжительностью контактирования карбидных зерен с жидкой связкой.

По мере движения расплава по капиллярам карбидного каркаса, он переносит часть карбидов из верхних зон образца в нижние. Увеличение объемного содержания карбидной фазы к низу образца закономерно приводит к увеличению твердости этих зон (см. табл. 2).

Выводы. Установлена оптимальная пористость карбидного каркаса 44 – 52 %. Исследована кинетика процесса пропитки неспеченного карбидного каркаса из карбида титана сталью X18H10T и экспериментально найдена зависимость скорости пропитки от расстояния от поверхности контакта стали с карбидным каркасом. Получена зависимость времени пропитки от высоты прессовки. Определена закономерность распределения зерен карбида титана по высоте прессовки после пропитки и показана ее зависимость от перекристаллизации карбидных зерен через жидкую фазу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуревич Ю.Г. Теоретические и технологические основы получения качественных изделий из карбидостали методом пропитки

Таблица 2

Количественный анализ структурных составляющих карбидостали TiC–X18H10T

Расстояние от зоны контакта TiC–сталь, мм	Размер карбидных зерен, мкм						Средний размер карбидных зерен, мкм	Содержание, %		Средний размер стальной прослойки	Пористость, %	Твердость HRA
	1 – 2	3 – 4	5 – 6	7 – 8	9 – 10	11 – 12		TiC	стальная прослойка			
0	54,83	19,35	18,27	3,22	–	4,3	3,74	51,25	48,75	2,43	1,1	80,57 ± 0,73
4	61,14	34,39	3,82	–	0,63	–	2,89	52,30	47,70	2,80	–	
8	54,81	39,13	12,00	–	–	–	3,13	52,81	47,19	2,75	–	
12	62,20	22,88	8,15	16,30	2,17	–	3,05	61,87	38,12	1,90	1,2	83,00 ± 0,38
14	81,80	19,20	–	–	–	–	2,40	71,25	28,75	1,50	–	

- ки неспеченного карбидного каркаса // Изв. вуз. Черная металлургия. 2006. № 3. С. 40 – 42.
2. Гуревич Ю.Г. Влияние нитрида титана на качество изделий из карбидостали TiC–X18H10T // Черные металлы. 2014. № 1. С. 15 – 17.
 3. Попель С.И., Шерстобитов Р.А., Царевский Б.В. Определение скорости проникновения оксидных расплавов в капиллярно-пористые материалы. – В кн.: Поверхностные явления в расплавах

и возникающих из них твердых фазах. – Нальчик: Кабардино-Балкарское книжное изд-во, 1965. С. 550 – 557.

4. Износостойкие композиционные материалы / Ю.Г. Гуревич, В.Н. Анциферов Л.М., Савиных и др. – Екатеринбург: УО РАН, 2005. – 216 с.

© 2015 г. Гуревич Ю.Г.
Поступила 24 ноября 2014 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA – FERROUS METALLURGY. 2015. Vol. 58. No. 1, pp. 21–24.

IMPREGNATION KINETICS OF UNSINTERED CARBIDE FRAME BY CORROSION-RESISTANT STEEL 18Cr10NiTi

**Gurevich Yu.G., Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair
“Energy and Technology of Metals” (ygg@rambler.ru)**

Kurgan State University (25, Gogolya str., Kurgan, Russia, 640000)

Abstract. The optimal porosity of carbide frame is 44 ... 52 %. The author explored the kinetics of the process of impregnating of the green carbide frame of titanium carbide by steel 18Cr10NiTi and experimentally found dependence of the rate of impregnation of the distance of 1 cm from the contact surface of the steel with carbide frame. The dependence of the impregnation time from the pressing height was found. The regularities of distribution of grains of titanium carbide in pressing height after impregnation was determined and its dependence on recrystallization of carbide grains through the liquid phase was described.

Keywords: kinetics, carbide frame, impregnation, steel, porosity, grain size.

REFERENCES

1. Gurevich Yu.G. Theoretical and technological foundation of production of quality items of carbide steel by impregnation of unsintered carbide frame. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya – Ferrous Metallurgy*. 2006, no. 3, pp. 40–42. (In Russ.).
2. Gurevich Yu.G. Effect of titanium nitride on the quality of products of carbide steel TiC–18Cr10NiTi. *Chernye metally*, 2014, no. 1, pp. 15–17. (In Russ.).
3. Popel' S.I., Sherstobitov R.A., Tsarevskii B.V. Determination of the penetration rate of oxide melts in capillary-porous materials. In: *Poverkhnostnye yavleniya v rasplavakh i voznikayushchikh iz nikh tverdykh fazakh* [Surface phenomena in melts and solid phases emerging of them]. Nalchik: Kabardino-balkarskoe knizhnoe izd., 1965, pp. 550–557. (In Russ.).
4. Gurevich Yu.G., Antsiferov V.N., Savinykh L.M. etc. *Iznosostoikiye kompozitsionnye materialy* [Wear-resistant composite materials]. Ekaterinburg: UO RAN, 2005. 216 p. (In Russ.).

Received November 24, 2014

УДК 621.778

ЗАПАС ПРОЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПРОВОЛОКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА ВОЛОЧЕНИЯ

Гурьянов Г.Н., к.т.н., доцент (ggnbelorhome@rambler.ru)

Железков О.С., д.т.н., профессор кафедры «Сопротивление материалов»

Платов С.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Машины и технологии обработки давлением»

Терентьев Д.В., к.т.н., доцент кафедры «Машины и технологии обработки давлением»

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова
(455000, Россия, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38)

Аннотация. Приведены результаты расчета осевого напряжения, абсолютного запаса прочности, коэффициента запаса прочности проволоки по И.Л. Перлину и предложенных критериев для оценки эффективности формоизменения при волочении круглого сплошного профиля. При оптимальной величине угла волочения, когда минимальное осевое напряжение, наблюдаются максимальные значения показателей запаса прочности и предложенных критериев эффективности формоизменения.

Ключевые слова: волочение, проволока, осевое напряжение, пояска волоки, угол волочения оптимальный, запас прочности, экономия энергии.

При производстве проволоки малого сечения применяют несколько волочильных переделов, что требует высоких затрат электроэнергии. Энергия расходуется не только на формоизменение исходной заготовки волочильного производства – катанки до готового раз-

мера проволоки, но и преодоление силы контактного трения в рабочем канале волоки, на осуществление сдвига металла на входе и выходе очага пластической деформации и уравнивание силы противонапряжения [1 – 5].