

УДК 621.762.5:620.187.3

UDC 621.762.5:620.187.3

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ
КАРБИДОСТАЛИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКОЙ
ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК, ПОЛУЧЕННЫХ
УДАРНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ, НА ОСНОВЕ
НЕФОРМУЮЩИХСЯ ПОРОШКОВ****THE TECHNOLOGY OF OBTAINING
CARBIDE STEEL WITH HOT PUNCHING
POROUS BILLETS PRODUCED BY SHOCK
COMPACTION, BASED ON NO FORM
POWDERS**

Дмитренко Дмитрий Валерьевич
*Кубанский государственный технологический
университет, Краснодар, Россия*

Dmitrenko Dmitriy Valeryevich
*Kuban State Technological University, Krasnodar,
Russia*

В статье описана технология получения карбидостали горячей штамповкой пористых заготовок, полученных ударным прессованием, на основе неформующихся порошков, изучены структура и свойства полученного композиционного материала, представлена деталь с повышенными механическими свойствами

In the article the technology of obtaining carbide steel with hot punching porous billets produced by shock compaction, based on no form powders is described, the structure and properties of the obtained composite material are studied, the parts with enhanced mechanical properties are presented

Ключевые слова: ПОРОШКОВАЯ
МЕТАЛЛУРГИЯ, КАРБИДОСТАЛЬ, ГОРЯЧАЯ
ШТАМПОВКА, УДАРНОЕ ПРЕССОВАНИЕ

Keywords: POWDER METALLURGY,
CARBIDOSTEEL, HOT PUNCHING, SHOCK
COMPACTION

В машиностроительных отраслях России имеется большая номенклатура конструкционных и инструментальных деталей, которым необходимы износостойкие свойства для достижения определенных требований к долговечности, надежности, экономичности. Уровень требований обуславливается работой материалов при высоких и низких температурах, в агрессивных средах и вакууме, при больших скоростях и нагрузках, без смазки.

Во многих случаях перечисленным требованиям удовлетворяют карбидостали, представляющие собой композиционные материалы с матрицей из легированных сталей и твердых дисперсных включений из карбидов с массовой долей до 50 %. В качестве материала для твердых включений, как правило, используют мелкодисперсные порошки карбидов титана, реже карбидов вольфрама или хрома [1].

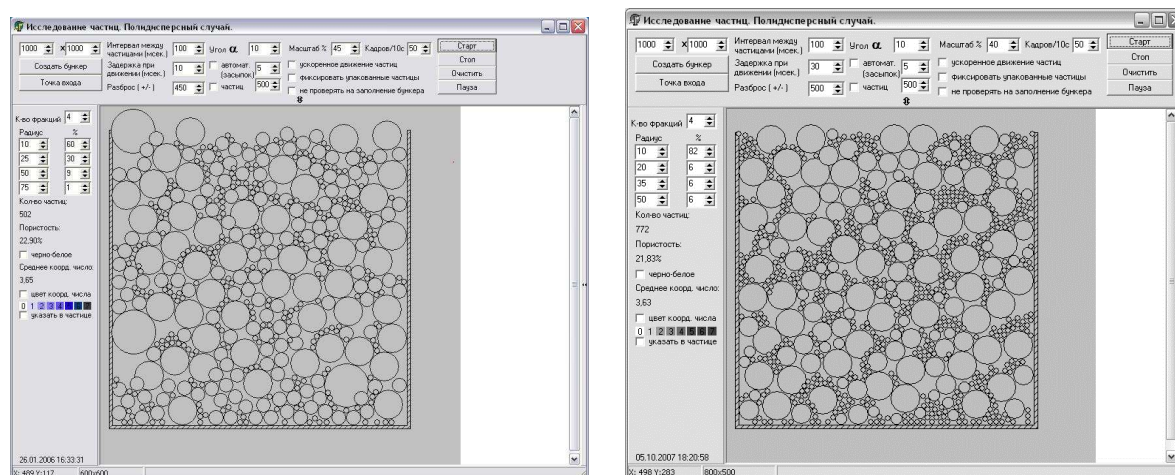
Технологические процессы получения карбидосталей имеют определенные недостатки. Технология «ГИП/экструзия» требует применения дорогостоящего специализированного оборудования и обеспечивает получение только крупногабаритных (длинномерных)

заготовок. Жидкофазное спекание сопровождается значительным ростом зерна металлической связки. Технология горячей штамповки спеченных заготовок не позволяет обеспечить формирование качественных границ между сталью и карбидными включениями, что связано со структурной деградацией приконтактной зоны в процессе спекания.

На основе метода горячей штамповки [2] разработан вариант технологии, который предусматривает горячее уплотнение пористых заготовок, полученных ударным прессованием неформующихся порошков. Технологический процесс включает следующие основные операции: приготовление смеси из порошков быстрорежущей стали и карбида, ударное прессование заготовки, ее нагрев, штамповка заготовки. Далее описание технологических операций иллюстрируется на примере карбидостали «быстрорежущая сталь Р6М5К5 – 20 % (мас.) TiC», которая ранее широко исследовалась, и изделия, из которой изготавливали в промышленных масштабах [3].

Исходные материалы. Основным требованием к макроструктуре карбидосталей является ее дисперсность, мелкие твердые включения из карбидов в идеальном случае должны быть равномерно распределены по объему изделия. Наиболее рациональным является размер твердых карбидов порядка 1..3 мкм [1, 3]. Относительная равномерность распределения твердых включений в смеси зависит не только от времени смешивания, но и от размера частиц стали.

Насколько важно правильно подобрать соотношения размеров частиц стали и карбида можно видеть при моделировании укладки частиц в смеси. В работе [4] описана методика моделирования укладки полидисперсных смесей частиц. В соответствии с этой методикой получены соответствующие модели при различных соотношениях размеров частиц (рисунок 1).



а

б

Рисунок 1. Модели укладки частиц полидисперсной смеси при объемном содержании мелких частиц 20 % (мас.):

а – модель укладки частиц при 1 % содержании самой крупной фракции металлической составляющей шихты;

б – модель укладки частиц при 6 % содержании всех фракций матричного материала

Если говорить о конкретных размерных параметрах исходных порошков, то, например, промышленный порошок карбида титана, полученный восстановлением оксидов титана при совместном высокотемпературном нагреве с сажей, имеет средний размер частиц – 5,7 мкм, минимальный – 1,19 мкм, максимальный – 65,57 мкм. В промышленном газораспыленном порошке быстрорежущей стали P6M5K5 содержание фракции – 630 мкм составляет около 96 %.

Путем компьютерного моделирования укладки частиц полидисперсной смеси установлено, что при размере частиц твердой составляющей шихты порядка 2 мкм рекомендуется выдерживать средний размер частиц металлической составляющей порядка 20 мкм. Предварительный размол порошка карбида титана до заданной фракции в технологическом цикле приготовления позволяет обеспечить оптимальное соотношение размеров частиц шихты карбидостали.

Наиболее эффективным методом измельчения порошков твердых и хрупких материалов является размол в атриторе. Для предварительного измельчения карбида титана использовался лабораторный атритор с объемом рабочей камеры 500 см^3 и частотой вращения мешалки от 0 до 2000 мин^{-1} .

Форма размолотых частиц карбида титана с размером порядка 1..3 мкм сглаженная, форма крупных частиц быстрорежущей стали с размером 20..30 мкм – несимметричная, в основном, сглаженная. Округлость и сглаженность формы частиц является причиной неформуемости порошков, а их мелкодисперсность обуславливает отсутствие текучести. При установленных режимах размолы шихты карбидостали получены следующие химические и технологические свойства: содержание кислорода 0,64 масс. %; прессуемость – $4,35 \text{ г/см}^3$; насыпная плотность – $1,76 \text{ г/см}^3$; порошок не формуется и не течет.

Контролировать размер частиц размолотых порошков рекомендуется на анализаторах изображений типа SIAMS–600 или SK Laser Micron Sizer с автоматическим подсчетом количества контролируемых частиц и расчетом их среднего размера. По выдаваемым гистограммам можно определить количественное и объемное содержание частиц различных размерных фракций.

Приготовление смеси. Приготовление шихты карбидостали осуществлялось по технологии предусматривающей предварительный размол карбида титана до заданного размера 1...3 мкм, затем совместный размол стали и карбида титана [5, 6]. Эта технология обеспечивает возможность контроля верхнего размера частиц карбида титана и рекомендуется для промышленного использования (рисунок 2).

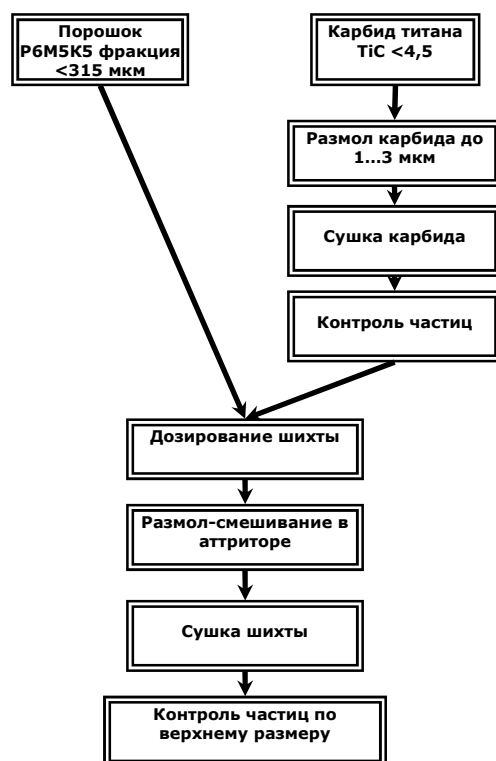


Рисунок 2. Схема техпроцесса приготовления шихты карбидостали

Изготовление заготовки под штамповку. Установлено, что заготовки под штамповку, предназначенные для изделий простой формы (без переходов по высоте), возможно прессовать из неформующихся порошков шихты карбидостали без применения связок методом ударного прессования. Для исследования энергосиловых параметров ударного прессования и штамповки карбидосталей использовалась экспериментальная установка, которая включает: копёр с ускорителями, позволяющий провести исследования в диапазоне скоростей нагружения от 1 до 20 м/с; устройства для измерения скорости и пути движения ударника и пуансона, а также измерения усилий прессования. Установка позволяет проводить комплексные исследования процесса ударного прессования металлических порошков.

Для определения начальной скорости нагружения V_H , м/с при ударном прессовании можно воспользоваться формулой

$$V_H = \sqrt{2 \frac{M}{m} \frac{\Theta_K - \Theta_H}{\Theta_H} \frac{\sigma_{cm}(\Theta_K)}{\Theta_K}}, \quad (1)$$

M – масса ударника, г;

m – масса пуансона, г,

Θ_K – конечная плотность порошка, г/см³,

Θ_H – начальная плотность порошка, г/см³,

σ_{cm} – статический предел текучести, МПа.

Формула (1) позволяет по известной массе порошка карбидостали, массам ударника и пуансона, начальной и конечной плотности брикета, пользуясь лишь данными по уплотняемости порошков, рассчитать необходимую скорость удара для получения прессовки заданной плотности.

Прессование свободно насыпанного порошка карбидостали приводит к повторным соударениям в процессе прессования вследствие различных послеударных скоростей пуансона и ударника. Способом устранения повторных соударений является подпрессовка порошка, которая выполняет функцию стабилизации объема дискретной среды, сопровождается перегруппировкой частиц шихты, что определяет направление течения уплотняемого материала и распределение плотности в пористой заготовке.

Экспериментальные исследования процессов ударного прессования карбидосталей проведены с целью выявления отличия в значениях энергосиловых параметров процессов ударного прессования карбидосталей предварительно подпрессованного и свободно насыпанного порошков. Кроме того, произведено сравнение расчётных и экспериментальных значений начальной скорости нагружения для установления границ применимости формулы (1).

При одних и тех же условиях ударного нагружения (одинаковая скорость нагружения и, соответственно, одинаковая совершённая работа), в случае уплотнения свободно насыпанного порошка, расчётная плотность

брикета в конце процесса уплотнения составила $6,55 \text{ г/см}^3$, подпрессованного – $6,75 \text{ г/см}^3$. Выпрессованные брикеты имели соответственно плотности $6,25$ и $6,55 \text{ г/см}^3$. На рисунке 3 показаны кривые нарастания давления прессования (на нижнем пуансоне) от плотности брикета, полученные при различных начальных скоростях нагружения.

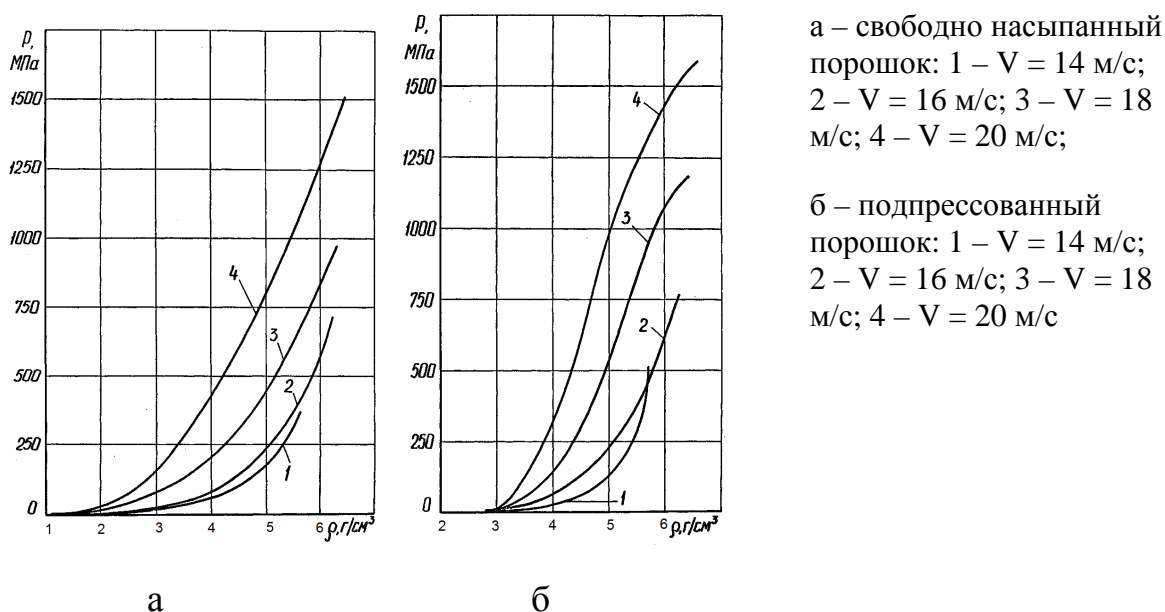


Рисунок 3. Зависимость плотности брикета от давления на нижнем пуансоне

По конечным величинам давлений и плотностей адиабат можно построить графики зависимости плотности от давления при прессовании свободно насыпанного и подпрессованного порошков (рисунок 4). На графиках показана плотность выпрессованного брикета.

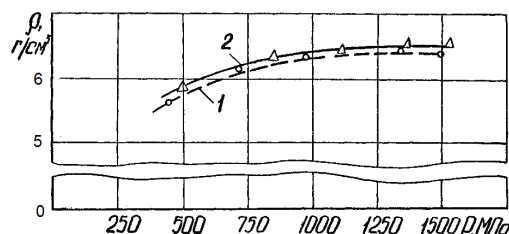


Рисунок 4. Зависимость плотности от давления (нижний пуансон): 1 – свободно насыпанный порошок; 2 – подпрессованный порошок

Графики показывают, что при одинаковом давлении плотность готового изделия получается более высокой в случае ударного прессования подпрессованного брикета. Причины этого в снижении потерь на трение. Снижение усилия трения является положительным фактором: этот эффект улучшает распределение плотности в изделии и повышает износостойкость матриц.

Сравнивая значения работы прессования, подсчитанные по теоретическим значениям скорости нагружения, с общими затратами энергии (рисунок 5), можно видеть, что они отличаются друг от друга на 15 %. Это даёт возможность использовать формулу (1) с достаточной степенью точности при выборе оборудования по характеристике "совершаемая работа".

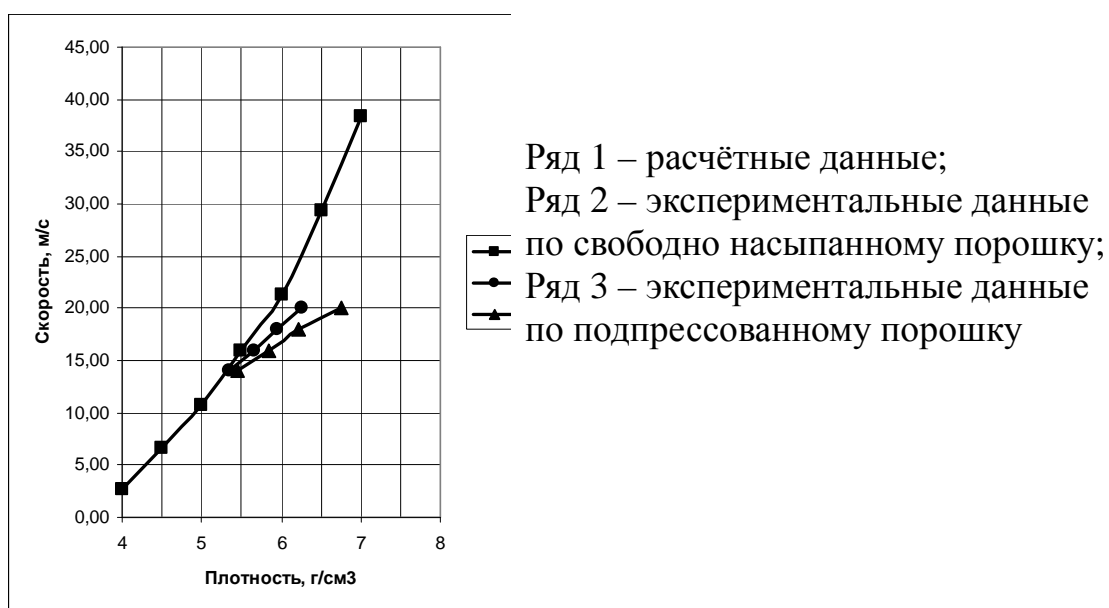


Рисунок 5. Зависимость плотности от скорости нагружения

На рисунке 6 представлены графики распределения плотности по высоте в брикетах, полученных методом ударного прессования свободно насыпанного порошка и с подпрессовкой. Анализируя графики, можно утверждать, что предварительная подпрессовка порошка увеличивает

плотность брикета на 3–5 % и способствует более равномерному ее распределению на всем диапазоне исследованных высот.

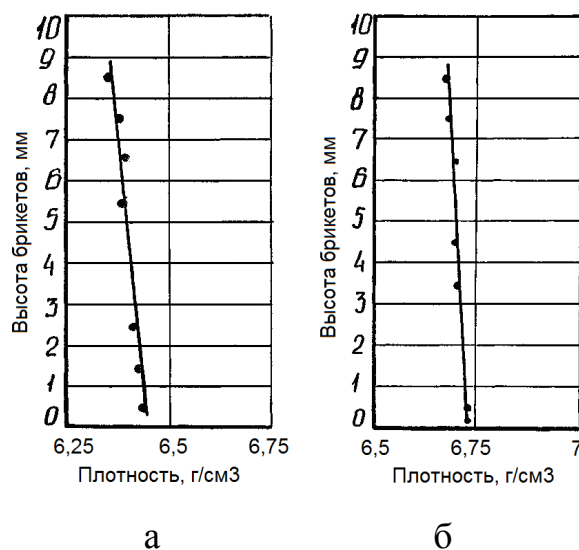


Рисунок 6. Распределение плотности образцов, полученных из:
 а – свободно насыпанного порошка;
 б – подпрессованного порошка

При ударном прессовании не происходит перетекания порошка в радиальном направлении и происходит незначительное смещение порошка в центральной части в осевом направлении. Отсутствие перетекания можно объяснить малой длительностью процесса ударного прессования. Использование этого эффекта даст возможность получения изделий с практически равномерной плотностью по его объёму.

Ударное прессование неформующихся порошков компонентов карбидостали обеспечивает возможность получения пористых заготовок с достаточной технологической прочностью для последующей горячей штамповки с минимальным количеством дефектов, что объясняется локализацией выделяющегося тепла и жидкой фазы в приконтактных межчастичных участках.

Штамповка. Ключевыми операциями технологического процесса горячей штамповки пористых заготовок, полученных ударным прессованием, являются холодное ударное формование заготовки, ее

нагрев и последующая штамповка. Особенностью нагрева заготовок под штамповку является необходимость его осуществления в защитной среде (азот, аргон, водород). Рекомендуется температура нагрева до 1170–1190 °С. При такой температуре еще не успевает образоваться жидкая фаза.

Установлено, что при горячей штамповке полученных ударным прессованием заготовок формируется структура с равномерно распределенными цепочками мелкодисперсных твердых включений карбида титана. Особенностью структуры является отсутствие значительного диффузионного взаимодействия за счет исключения операции спекания и снижения температуры преддеформационного нагрева, вследствие чего не наблюдается коалесценция мелкодисперсных частиц карбида титана, как это имеет место в спеченных карбидосталах.

Уплотняемость карбидостали при горячей штамповке при температуре 1180 °С пористых заготовок, полученных холодным ударным прессованием неформующихся порошков, изучали на дугостаторном штамповочном прессе усилием 1,6 МН.

На рисунке 7 приведена кривая уплотняемости пористых заготовок, полученных ударным прессованием, в сравнении с пористыми заготовками, полученными с использованием связок (пластификатора). Уплотняемость заготовок, полученных ударным прессованием, выше уплотняемости заготовок, полученных с применением связок. Это объясняется особенностями уплотнения шихты карбидостали при ударном формовании пористых заготовок. Волновой характер уплотнения приводит к тому, что мелкие карбидные частицы равномерно распределяются в объеме формируемой заготовки между частицами матричного материала (быстрорежущей стали). Это приводит к образованию цепочек карбидных частиц, не коалесцирующих между собой, поэтому частицы карбида распределяются максимально компактно.

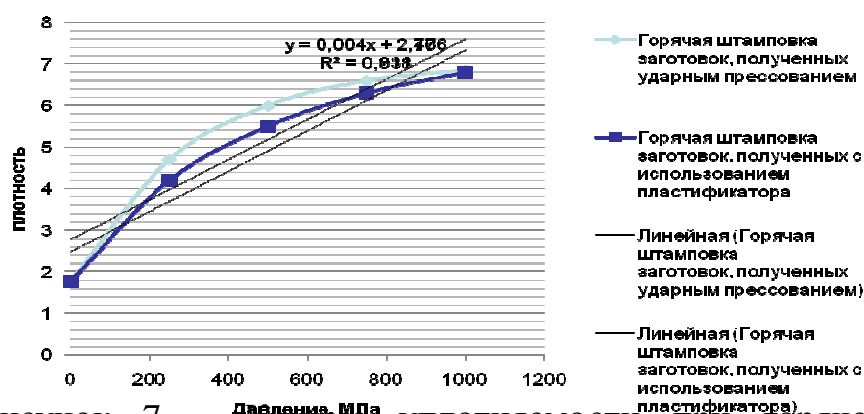


Рисунок 7 – Кривые уплотняемости при горячей штамповке пористых заготовок карбидосталей

Структура и свойства карбидосталей, полученных горячей штамповкой заготовок после ударного прессования неформующихся порошков, имеет ряд особенностей.

Текстура металла-основы и измельченное зерно твердой составляющей являются отличительными особенностями структуры карбидостали, полученной по технологии горячей штамповки пористых заготовок, спрессованных холодным ударным прессованием.

В структурах сталей на границе зерен металла имеются отдельные светлые прослойки (рисунок 8). Эти прослойки представляют собой закристаллизованную оксикарбидную жидкую фазу. В состав прослоек, как правило, входят хром, ванадий, железо, вольфрам, молибден и их карбиды.

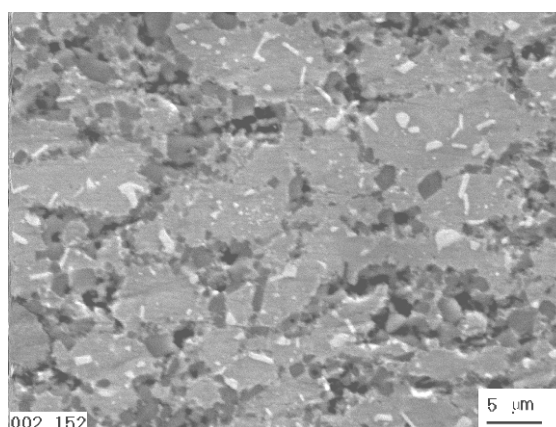


Рисунок 8. Микроструктура карбидостали

При вакуумном жидкофазном спекании (1280°C) на границе «сталь – карбид» образуется кольцевая переходная зона. Образование этой зоны обусловлено появлением (уже при температуре 1130°C) жидкой фазы и ее последующей кристаллизацией. Происходит активное диффузионное взаимодействие между соседними частицами и, соответственно, переход в зерна карбида титана легирующих элементов быстрорежущей стали. При этом наблюдается обезуглероживание зерен карбида титана.

При горячей штамповке пористых заготовок карбидостали такая зона не образуется [7, 8]. Анализируя микроструктуру карбидостали, полученной горячей штамповкой пористых заготовок спрессованных ударным способом (рисунок 9), можно утверждать, что, аналогично горячештампованной карбидостали в пористой оболочке, переходная зона «сталь – карбид» не образуется. Это объясняется более низкой температурой нагрева заготовок под штамповку и кратковременным характером их термической обработки (нагрев, выдержка). При этом значительные диффузионные процессы на границах зерен «сталь – карбид» пройти не успевают. На основании приведенных результатов можно предположить, что прочность закрепления зерен карбида титана в матрице будет больше по сравнению с материалом, полученным традиционным методом порошковой металлургии.

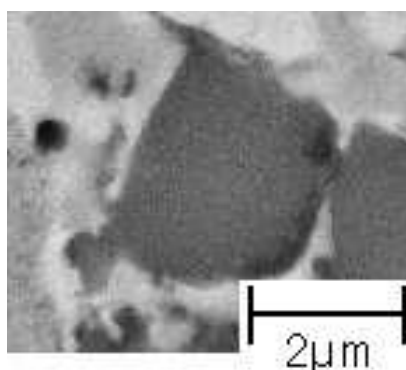


Рисунок 9. Структура горячештампованной карбидостали, полученной из заготовок спрессованных ударным способом, вокруг частицы карбида титана

Упругопластические характеристики полученной карбидостали представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Упругопластические свойства горячештампованной карбидостали «быстрорежущая сталь Р6М5К5 –TiC» после отжига

Образец 1 (подпрессованный порошок) $\rho_1 = 6,76 \text{ г/см}^3, 35...37 \text{ HRC}_3$			Образец 2 (свободно насыпанный порошок) $\rho_2 = 6,35 \text{ г/см}^3, 26...30 \text{ HRC}_3$		
НМ, ГПа	Е, ГПа	δ	НМ, ГПа	Е, ГПа	δ
15,490	348,433	0,655	8,599	266,644	0,758

Результаты исследований дают основания говорить о повышении упругих свойств карбидостали (НМ, Е) с увеличением ее плотности и твердости, при соответствующем снижении пластичности.

Изучение физико-механических свойств карбидосталей (плотности, твердости), полученных по различным технологиям, показало: прочностные свойства (прочность, ударная вязкость) закаленной карбидостали, полученной горячей штамповкой пористых заготовок, спрессованных ударным способом, превышают свойства карбидосталей, полученных методами жидкофазного спекания и горячей экструзии при схожем химическом составе. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства карбидосталей

Технология изготовления	Плотность, г/см^3	Твердость	Прочность на изгиб, МПа	Ударная вязкость, кДж/м^2
Горячая штамповка заготовок в пористых оболочках, $T_{шт} = 1180 \text{ }^\circ\text{C}$	6,98	68...70 HRC ₃	1920...1940	51,6...52,2
Горячая штамповка заготовок, полученных ударным способом, $T_y = 1180 \text{ }^\circ\text{C}$	6,85	68...70 HRC ₃	1840...1860	43...45,5
Жидкофазное спекание, $T_{сп} = 1280 \text{ }^\circ\text{C}$	7,12	68...70 HRC ₃	1650...1670	23,2...26,8
ГИП / горячая экструзия, $T_3 = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$	7,15	88...89 HRA	1400...1700	30...40

Результаты испытаний на трение и износ горячештампованной и спеченной карбидосталей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительные характеристики износостойкости

Материал	Удельная нагрузка p , МПа	Действительная нагрузка P , кг	Весовой износ мг/км		Линейный износ образца мкм/км
			образец	контртело	
Горячештампованная карбидосталь, $\rho = 6,76 \text{ г/см}^3$; 63-66 HRC после закалки	1	5	0,28	4,1	0,6
	2	10	0,42	6,1	1,1
	3	15	0,51	7,1	1,3
	4	20	0,87	9,2	2,2
Спеченная карбидосталь $\rho = 7,03 \text{ г/см}^3$; 62-65 HRC после закалки	1	5	0,31	4,2	0,7
	2	10	0,51	6,0	1,1
	3	15	0,62	7,6	1,6
	4	20	1,02	10,2	2,6

Учитывая результаты испытаний физико-механических свойств горячештампованной карбидостали, полученной из пористых заготовок спрессованных ударным способом, можно рекомендовать её к применению взамен аналогичных карбидосталей, полученных спеканием и горячей экструзией.

Для практической оценки применимости технологии получения износостойкой горячештампованной порошковой карбидостали из пористых заготовок, полученных методом ударного прессования неформующихся порошков без использования связок, выбрана деталь «Кольцо гидропята», выполняющая роль торцевой опоры центробежного насоса для поддержания пластового давления при добыче нефти.

Результаты опытно-промышленных испытаний деталей «Кольцо гидропята», изготовленных по представленной технологии, показали увеличение на 30 % наработки насоса до замены торцевой опоры по

сравнению с применением колец гидропята, изготовленных промышленными методами порошковой металлургии.

Выводы

1. Оптимальное соотношение компонентов шихты для ударного холодного прессования заготовок карбидостали «быстрорежущая сталь – карбид титана», отличающееся учетом волнового характера нагружения агломератов частиц порошков карбида титана и быстрорежущей стали. Соотношение компонентов «карбид титана / быстрорежущая сталь» выбирается в интервале $1/9 - 1/11$, что обеспечивает повышение однородности шихты на 10–15 %.

2. При размере частиц твердой составляющей шихты порядка 2 мкм выдерживать средний размер частиц металлической составляющей порядка 20 мкм. Учитывая, что после размола твердая составляющая в наибольшей степени состоит из частиц фракции 2...3 мкм, то следует ограничить размер частиц металлической составляющей до 20...30 мкм.

3. Прессование свободно засыпанного порошка карбидостали приводит к повторным соударениям в процессе прессования вследствие различных послеударных скоростей пуансона и ударника. Способом устранения повторных соударений является подпрессовка порошка, которая снижает потери на трение и за счёт этого обеспечивает более высокую плотность, по сравнению с ударным прессованием свободно насыпанного порошка.

4. Зависимость уплотняемости пористых заготовок карбидостали, полученных ударным холодным прессованием можно рекомендовать при выборе рабочих давлений горячей штамповки карбидосталей для конструкционных изделий.

5. При горячей штамповке предварительно подготовленных ударным прессованием заготовок получается структура с равномерно

распределенными цепочками мелкодисперсных твердых включений карбида титана. Особенностью структуры является отсутствие значительного диффузионного взаимодействия, что обусловлено исключением операции спекания и снижением температуры и длительности преддеформационного нагрева.

Список литературы

1. Гуревич Ю.Г., Нарва В.К., Фраге Н.Р. Карбидостали. – М.: Металлургия, 1988. – 144 с.
2. Промышленная технология горячего прессования порошковых изделий / Ю.Г. Дорофеев, Б.Г. Гасанов, В.Ю. Дорофеев, В.Н. Мищенко, В.И. Мирошников. – М. Металлургия, 1990. – 206 с.
3. Позняк Л.А. Инструментальные стали. – Киев.: Наукова думка, 1996. – 488 с.
4. Рудь В.Д., Сергеев В.В., Павлыго Т.М., Сердюк Г.Г., Пломодьяло Р.Л., Свистун Л.И. Имитационная модель засыпки частиц порошков и ее использование при разработке технологии приготовления шихты карбидостали // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении. Вып. 8: Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины. Серия "Моделирование в материаловедении". – Киев, 2006. С. 94 - 100.
5. Свистун Л.И., Павлыго Т. М., Дмитренко Д.В. Технология приготовления шихт карбидосталей //Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2011. – № 1. – С. 8 – 13.
6. Патент на полезную модель № 49476 РФ. МПК 7 B22F9/02. Технологическая линия для производства шихты из дисперсных порошков для карбидосталей / Свистун Л.И., Пломодьяло Л.Г., Пломодьяло Р.Л. (РФ), Сердюк Г.Г., Павлыго Т.М. (Украина). – Бюл. № 33, 2005. – 2 с.: ил.
7. Свистун Л. И., Дмитренко Д.В., Пломодьяло Р.Л., Сердюк Г. Г. Структура и свойства горячештампованного композита «быстрорежущая сталь – карбид титана» // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2009. – № 1. – С. 29 – 33.
8. Свистун Л.И., Павлыго Т.М., Дмитренко Д.В. Структура и свойства композита быстрорежущая сталь Р6М5К5 – карбид титана в горячештампованном двухслойном изделии // Металлы. – 2009. - № 3. – С. 68 – 73.

References

1. Gurevich Ju.G., Narva V.K., Frage N.R. Karbidostali. – M.: Metallurgija, 1988. – 144 s.
2. Promyshlennaja tehnologija gorjachego pressovaniya poroshkovyh izdelij / Ju.G. Dorofeev, B.G. Gasanov, V.Ju. Dorofeev, V.N. Mishhenko, V.I. Miroshnikov. – M. Metallurgija, 1990. – 206 s.
3. Poznjak L.A. Instrumental'nye stali. – Kiev.: Naukova dumka, 1996. – 488 s.
4. Rud' V.D., Sergeev V.V., Pavlygo T.M., Serdjuk G.G., Plomod'jalo R.L., Svistun L.I. Imitacionnaja model' zasypki chastic poroshkov i ee ispol'zovanie pri razrabotke tehnologii prigotovlenija shihty karbidostali // Matematicheskie modeli i vychislitel'nyj jeksperiment v materialovedenii. Vyp. 8: Trudy Instituta problem materialovedenija im. I.N. Francevicha NAN Ukrainy. Serija "Modelirovanie v materialovedenii". – Kiev, 2006. S. 94 - 100.

5. Svistun L.I., Pavlygo T. M., Dmitrenko D.V. Tehnologija prigotovlenija shiht karbidostalej //Poroshkovaja metallurgija i funkcional'nye pokrytija. – 2011. – № 1. – S. 8 – 13.

6. Patent na poleznuju model' № 49476 RF. MPK 7 V22F9/02. Tehnologicheskaja linija dlja proizvodstva shihty iz dispersnyh poroshkov dlja karbidostalej / Svistun L.I., Plomod'jalo L.G., Plomod'jalo R.L. (RF), Serdjuk G.G., Pavlygo T.M. (Ukraina). – Bjul. № 33, 2005. – 2 s.: il.

7. Svistun L. I., Dmitrenko D.V., Plomod'jalo R.L., Serdjuk G. G. Struktura i svojstva gorjacheshtampovannogo kompozita «bystrorezhushhaja stal' – karbid titana» // Poroshkovaja metallurgija i funkcional'nye pokrytija. – 2009. – № 1. – S. 29 – 33.

8. Svistun L.I., Pavlygo T.M., Dmitrenko D.V. Struktura i svojstva kompozita bystrorezhushhaja stal' R6M5K5 – karbid titana v gorjacheshtampovannom dvuhslojnom izdelii // Metally. – 2009. - № 3. – S. 68 – 73.