

В.Л. КАСЬЯН, Ш.Г. ТУМАСЯН, А.Н. КАЗАРЯН

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ГОРЯЧИМ ПРЕССОВАНИЕМ И ЭКСТРУЗИЕЙ

Обосновывается целесообразность получения высокопрочных порошковых сталей путем горячего прессования и экструзии. Приводится технология получения порошковых сталей с максимальными механическими свойствами. Стали, полученные этой технологией, можно применить в качестве конструкционных материалов общего назначения.

**Ключевые слова:** структура, экструзия, горячее прессование, закалка.

В настоящее время традиционные методы порошковой металлургии не обеспечивают возрастающие потребности в материалах с достаточно высокими показателями физико-механических и эксплуатационных свойств вследствие наличия у них остаточной пористости. Для обеспечения максимальной плотности изделий наиболее эффективны процессы формования, основанные на горячей обработке давлением пористых заготовок. Среди них особое место занимают горячее прессование (статическое, динамическое) и горячая экструзия. Эти процессы дают возможность получить беспористую структуру, а экструзия отличается еще и тем, что позволяет получать длинномерные изделия сплошного или полого сечения (простого и сложного профиля) [1-7].

Так как процессы структурообразования, совмещающие горячее прессование и экструзию, а следовательно, и свойства полученных материалов почти не изучены, целью настоящей работы является исследование процессов формирования структуры и свойств железо-графитных композиций при статическом горячем прессовании и экструзии, включая исследования структуры при их термической обработке.

В качестве исходных материалов брали железный порошок марки ПЖРЗ, фракция – 160 мкм, а также графит марки ГК-2. Исследуемыми факторами являлись продолжительность нагрева ( $\tau = 30 \dots 90$  мин) и количество углерода ( $C = 0,2(1,2 \%)$ ). Железный порошок смешивали с графитом следующих составов: Fe – 0,2, 0,7, 1,2%С. Двусторонним прессованием изготавливали заготовки 25%-ной пористостью, которые затем нагревали при температуре 970(30 °С в среде водорода с выдержкой 30, 60 и 90 мин. Затем заготовки подвергали горячему прессованию на гидравлическом прессе типа П474А, после чего повторно нагревали при температуре  $1150 \pm 20$  °С с выдержкой 15 мин и экструдировали с коэффициентом вытяжки  $\lambda=4$ . Из экструдированных материалов изготавливали образцы (ГОСТ 1497-84) для механических испытаний (табл. 1).

Как и следовало ожидать (табл. 1), с увеличением продолжительности нагрева и содержания углерода прочность материалов возрастает. Оптимальной выдержкой следует считать  $\tau = 75$  мин, после которой показатели прочности и пластичности стабилизируются.

Таблица 1

Прочностные свойства экструдированных образцов

| Номер образца | Время нагрева, мин | Содержание углерода С, % | Предел прочности $\sigma_b$ , МПа | Относительное удлинение $\delta$ , % | Относительное сужение $\psi$ , % |
|---------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1             | 45                 | 0,11 (0,2)               | 296                               | 31,7                                 | 59,0                             |
| 2             | 75                 | 0,11 (0,2)               | 301                               | 33,3                                 | 61,6                             |
| 3             | 105                | 0,11 (0,2)               | 307                               | 28,3                                 | 61,6                             |
| 4             | 45                 | 0,38 (0,7)               | 377                               | 21,7                                 | 36,0                             |
| 5             | 75                 | 0,38 (0,7)               | 478                               | 16,7                                 | 36,0                             |
| 6             | 105                | 0,38 (0,7)               | 486                               | 16,7                                 | 36,0                             |
| 7             | 45                 | 0,66 (1,2)               | 613                               | 15,0                                 | 24,0                             |
| 8             | 75                 | 0,66 (1,2)               | 618                               | 11,7                                 | 19,0                             |
| 9             | 105                | 0,66 (1,2)               | 624                               | 11,6                                 | 19,0                             |

Примечание: в скобках – исходное количество углерода.

Анализ микроструктуры показывает, что стали, получаемые двукратной горячей обработкой давлением (горячая допрессовка и экструзия), очень мелкозернисты. На рис. 1а видны графитовые включения, которые и определяют достаточно низкие прочностные свойства этого образца. На рис. 1б просматриваются мелкие цементитные включения, хотя следы графитовых включений еще остаются. Такая закономерность продолжает сохраняться (рис. 1 в), но в значительно в меньшей мере. Это связано с температурной выдержкой, при которой графит растворяется в матрице (железе) и частично выгорает. Следовательно, в связи с увеличением времени нагрева свободный графит или переформируется в цементит, или выгорает в восстановительной среде. Образование цементитной фазы придает стали высокие механические свойства (рис. 1б и в; табл. 1). Чтобы исключить в структуре стали графит, необходимо продолжительность спекания (нагрева) увеличить до 2,0 ч.

С целью получения более полной информации о количестве графита в сталях нами произведен анализ по методу С.А. Салтыкова [8]. Установлено, что после 75 мин нагрева для образцов с 0,2, 0,7 и 1,2%С соответственно имеем 0,11, 0,38, 0,66%С, т.е. потери графита составляют ~45%.

Представляют интерес результаты исследований сталей после закалки и отпуска (табл. 2, рис. 2). Для закалки образцы нагревали в муфельной печи марки СНОЛ 1,6.2,5. 1/11-И2, выдерживали при определенной температуре 15 мин, затем охлаждали в различных средах. Твердость закаленных и отпущенных образцов измеряли на твердоме типа ТК-2М (ГОСТ 23677-79).

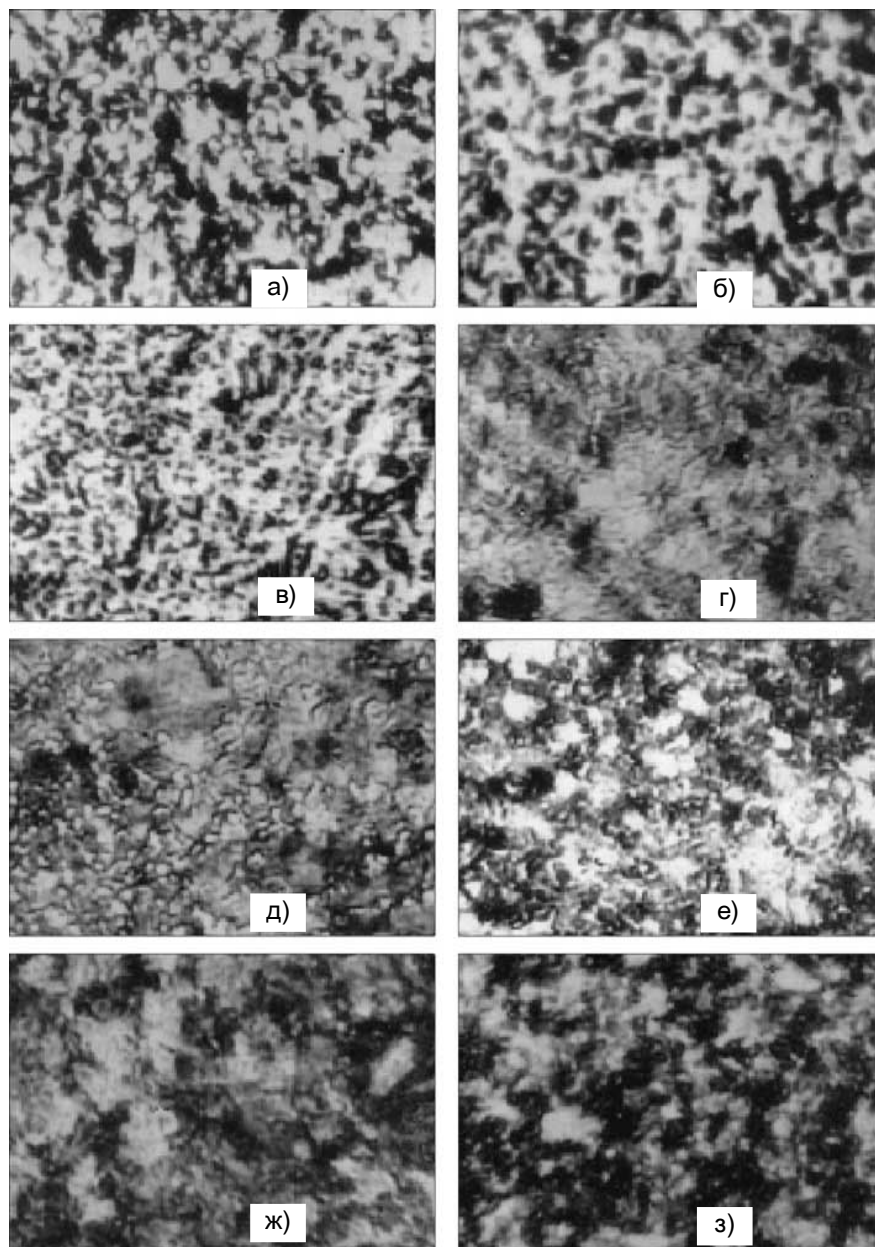


Рис. 1. Микроструктуры образцов, полученных горячим прессованием и экструзией:

а - 0,2%С,  $\tau = 30$  мин; б - 0,2%С,  $\tau = 60$  мин;  
 в - 0,2%С,  $\tau = 90$  мин; г - 0,7%С,  $\tau = 30$  мин;  
 д - 0,7%С,  $\tau = 60$  мин; е - 0,7%С,  $\tau = 90$  мин;  
 ж - 1,2%С,  $\tau = 30$  мин; з - 1,2%С,  $\tau = 60$  мин

Таблица 2

## Данные термообработки экструдированных сталей

| Сод-ние углерода, % | Время нагрева, мин | HRC до закалки | Тем-ра закалки, °C | Среда закалки | HRC после закалки | HRC после отпуска |
|---------------------|--------------------|----------------|--------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 1,2 (0,66)          | 45                 | 36...38        | 780                | Масло         | 63,6...64,6       | 43...49           |
| 1,2 (0,66)          | 75                 | 34...41        | 780                | — " —         | 60,6...64,6       | 44...48           |
| 0,7 (0,38)          | 45                 | 5... 9         | 820                | Вода          | 41,3...60,3       | 44...46           |
| 0,7 (0,38)          | 75                 | 19...21        | 820                | — " —         | 61,3...63,3       | 46...47           |
| 0,7 (0,38)          | 105                | 20...24        | 820                | — " —         | 60,3...61,3       | 45...47           |
| 0,2 (0,11)          | 45                 | -              | 840                | — " —         | 30,5...37,5       | 25...40           |
| 0,2 (0,11)          | 75                 | -              | 840                | — " —         | 40,5...41,5       | 35...40           |
| 0,2 (0,11)          | 105                | -              | 840                | — " —         | 29,5...40,5       | 38...40           |

Микроструктуры закаленных отпущенных сталей показаны на рис. 2. У образцов с 1,2%С (рис. 2а,б) виден мартенсит закалки (бесструктурный мартенсит). В зависимости от продолжительности нагрева зерна мартенсита закалки укрупняются, а следовательно, твердость падает. Просматриваются также цементитные и графитовые включения. В сталях с 0,7%С (рис. 2 в) преобладает мартенсит закалки, чем и обуславливается высокая их твердость. У сталей с 0,2%С микроструктура трооститная (рис. 2 г) с зернами цементита. Большой разброс значений твердости объясняется неоднородностью структуры, в частности, включениями графита. Отпуск проводили при температуре 220 °С в течение 2 ч. В результате, как и следовало ожидать, количество мартенсита уменьшилось, кроме того, он нечетко выражен (рис. 2 д и е), преобладает цементитная фаза. Как видно (табл. 2), после отпуска имеет место большой разброс твердости, что частично объясняется наследственностью, перешедшей от закаленных сталей, а также структурным их несовершенством.

Таким образом, даже двойная горячая обработка (прессование и экструзия) не обеспечивает гомогенную структуру сталей, полученных из распыленных железных порошков. Это говорит о сложности компактирования железных порошков, имеющих сферическую форму частиц, тогда как для восстановленных железных порошков с произвольной формой частиц принятые параметры более чем достаточны для достижения максимальных прочностных свойств. Таким образом, для полной структурной гомогенизации необходимо либо повысить температуру и продолжительность обработки, либо дополнительно применить термоциклическую обработку, обеспечивающую структурную однородность и исключаящую ее несовершенства.

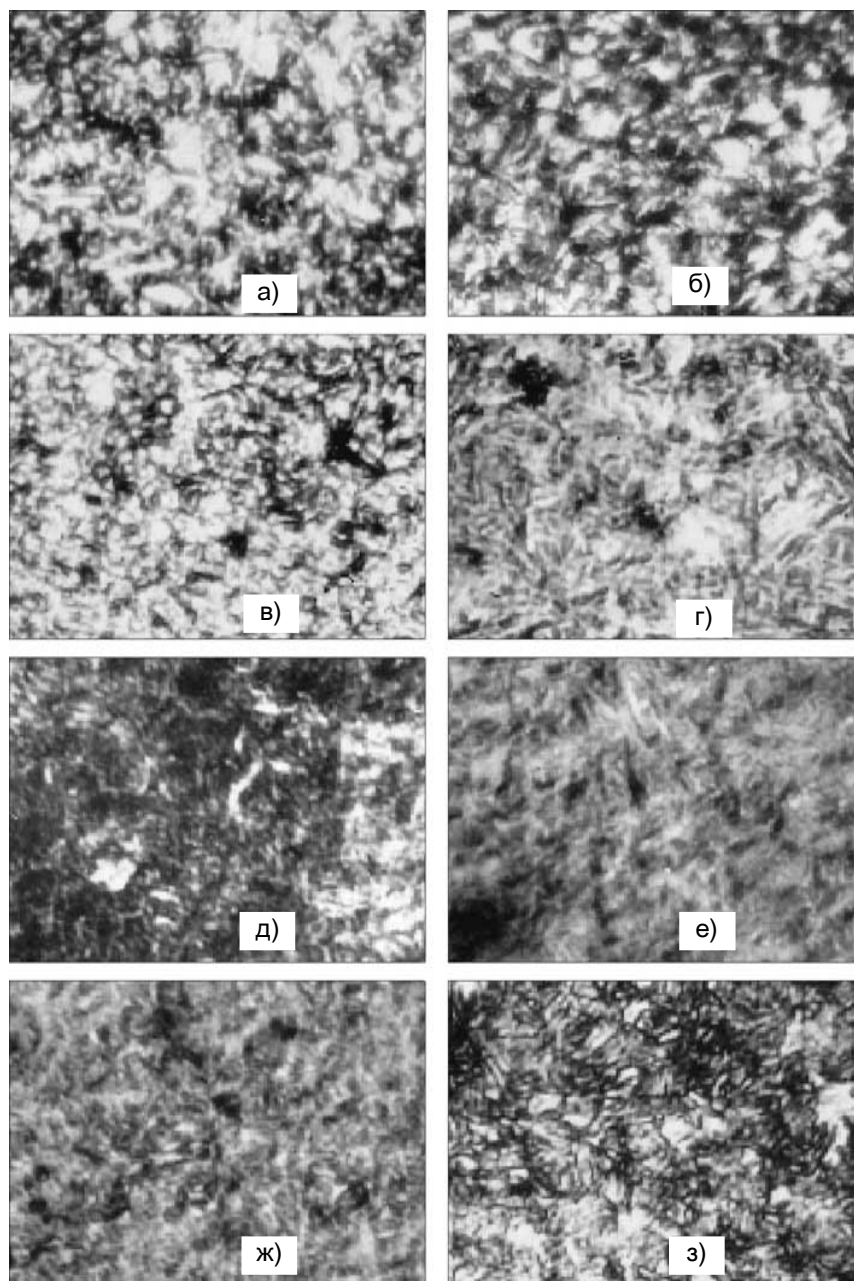


Рис. 2. Микроструктуры закаленных и отпущенных сталей:

а, б, в, г – после закалки; д, е, ж, з – после отпуска;  
а, д - 1,2%С,  $\tau = 30$  мин; б, е - 1,2%С,  $\tau = 60$  мин;  
в, ж - 0,7%С,  $\tau = 60$  мин; г, з - 0,2%С,  $\tau = 30$  мин

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорофеев Ю.Г. Динамическое горячее прессование пористых заготовок. - М.: Металлургия, 1977. – 216 с.
2. Манукян Н.В., Саркисян Л.Е. и др. Структура и свойства порошковых материалов: Межвуз. темат. сб. науч. тр. – Ереван, 1988. – 102 с.
3. Вязников Н.Ф., Ермаков С.С. Металлокерамические материалы и изделия. - Л.: Машиностроение, 1966. - 224 с.
4. Манукян Н.В. Технология порошковой металлургии. – Ереван: Айастан, 1986. – 232 с.
5. Устинов В.С., Олесов Ю.Г. и др. Порошковая металлургия титана. – М.: Металлургия, 1981. - 248 с.
6. Федорченко И.М., Пугина Л.И., Филатова Н.А. и др. Структура металлокерамических материалов на основе железа. – М.: Металлургия, 1968. – 140 с.
7. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. - М.: Металлургия, 1972. – 528 с.
8. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография: стереология металлических материалов. – М.: Металлургия, 1976. – 271 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 06.05.2000.

**Վ.Լ. ԿԱՍՅԱՆ, Շ.Գ. ԹՈՒՄԱՍՅԱՆ, Ա.Ն. ՂԱԶԱՐՅԱՆ**

### **ՏԱՔ ՄԱՍԼՄԱՍԲ ԵՎ ԱՐՏԱՄՂՄԱՍԲ ՍՏԱՅՎԱԾ ՓՈՇԵՊՈՂՊԱՏՆԵՐԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Հիմնավորվում է տաք մամլման և արտամղման միջոցով փոշենյութերից բարձրամուր պողպատների ստացման նպատակահարմարությունը: Ներկայացված է առավելագույն մեխանիկական հատկություններով փոշեպողպատների ստացման տեխնոլոգիա: Այդ տեխնոլոգիայով ստացված պողպատները կարելի է օգտագործել ընդհանուր նշանակության կոնստրուկցիոն նյութերի բնագավառում:

**V.L. KASSYAN, SH.G. TUMASYAN, A.N. GHAZARYAN**

### **MECHANICAL PROPERTIES OF POWDER STEELS GOT BY HOT PRESSING AND EXTRUDE**

The objectiveness of getting high-stable powder steels by hot pressing and extrusion is proved. The technology of getting powder steels with maximum mechanical properties is given. The steels got by this technology can be used as constructive materials of common reference.