

сложных моментов разработки ГОСТа явилось согласование с профильными предприятиями внедрения 100% УЗК-контроля немагнитных включений в ленте. Включение данного мероприятия в схему производства продукции позволит обеспечить контроль качества ленты по немагнитным включениям, что исключит обрывы полуфабрикатов в патронном производстве. В то же время введение данного положения обязывает предприятия к модернизации оборудования и технологии производства.

В результате работы над стандартом принято ужесточение требований по микроструктуре ленты в части ограничения по максимальному баллу цементита.

Таким образом, в процессе разработки данного стандарта с дополнением на особый период, был учтен весь накопленный с 1980-х годов опыт в сфере производства на металлургических предприятиях холоднокатаных полос и лент из высококачественной стали марок 18ЮА и 11ЮА. В том числе учтены модернизация оборудования и автоматизация процессов производства, совершенствование методов контроля, а именно:

1) переход к высокопроизводительным автоматизированным процессам производства ленты в рулонах вместо полос, который обеспечил существенное увеличение производительности и автоматизации труда как при производстве ленты на металлургических заводах, так и при производстве гильз на патронных заводах;

2) введение предприятиями методик 100 % неразрушающего контроля толщины и расслоений;

3) переход патронных предприятий к производству гильз на автоматических роторных линиях.

Все это позволит стабилизировать качество поставляемой ленты по механическим свойствам и микроструктуре.

Список литературы

1. Виторский Я.М., Иванов Э.А., Белов В.И., Попов В.А., Ханутин А.М. Освоение производства холоднокатанных полос из высококачественной стали марки 18ЮА для производства гильз патронов стрелкового оружия // ЦНИИ материалов – 100 лет на благо России, -Санкт-Петербург, 2012 г.- с. 101-110.

УДК 669.14.018

ГОРЯЧАЯ ЭКСТРУЗИЯ ПОРОШКОВ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

С.А. Мазуров, В.Л. Гиршов

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт материалов», 191014, Санкт-Петербург, ул. Парадная, 8, e-mail: info@cniim.com

Изучена технология горячей экструзии стальных капсул с порошком быстрорежущей стали и титановым геттером. Показано, что горячая экструзия капсул с четырехкратной вытяжкой позволяет получить полуфабрикат порошковой быстрорежущей стали с остаточной пористостью 1 – 3 %. За счет сохранения дисперсной мелкозернистой структуры порошковой быстрорежущей стали при ее дальнейшей пластической деформации методами прокатки иковки удается добиться показателей временного сопротивления при испытаниях на изгиб на уровне 4500÷5000 МПа.

Ключевые слова: Порошки, быстрорежущая сталь, экструзия, вытяжка.

С 1970-х годов XX века ЦНИИМ ставилась задача разработать технологию производства порошковых быстрорежущих

сталей (ПБС). В начале 70-х годов была спроектирована, изготовлена и пущена в эксплуатацию опытная установка газового

¹Мазуров Сергей Александрович – кандидат технических наук, начальник лаборатории отдела 123, тел. (812)578-91-08;

²Гиршов Владимир Леонидович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник. отд. 123 АО «ЦНИИМ».



распыления порошков, схема которой показана на рисунке 1. Плавку металла осуществляли в открытой индукционной печи с емкостью тигля 60 кг. Metallический расплав заливали в металлоприемник, из которого расплав поступал в камеру, где под давлением 0,4 – 0,5 МПа распылялся потоком азота (содержание кислорода в азоте не должно было превышать 0,003% по массе). В этой опытной установке на протяжении многих лет получали порошки быстрорежущих сталей, порошки нержавеющей, конструкционных сталей, чугунов, сплавов на основе алюминия, меди, никеля и кобальта. Порошки имели сферическую форму и средний размер частиц около 100 мкм.

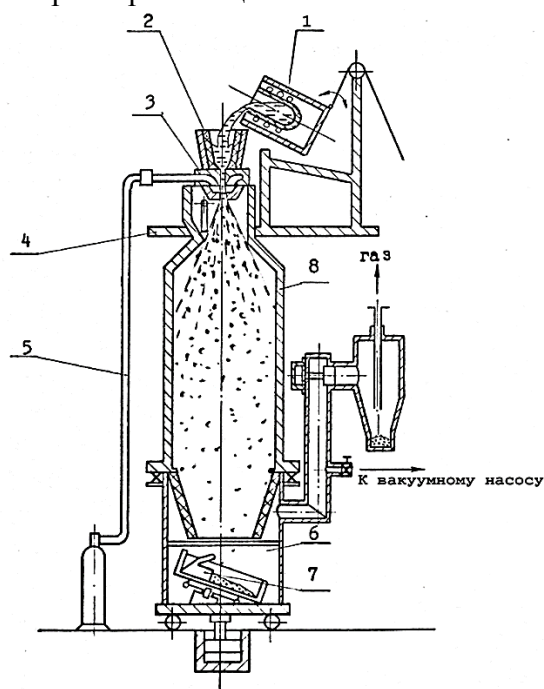


Рисунок 1 – Установка газопыления: 1 – индукционная печь; 2 – литейная воронка; 3 – сопло; 4 – рабочая площадка; 5 – газопровод; 6 – сборник порошка; 7 – устройство перемешивания; 8 – камера распыления

Для переработки порошков в скомпактированные прутки круглого сечения был выбран способ горячей экструзии. Этот способ представляет собой процесс горячего прессования, при котором прессуемая заготовка получается выдавливанием металла из замкнутого объема через отверстие в матрице, как это в схематичном виде показано на рисунке 2. По виду напряженно-деформированного состояния экструзия сопоставима со схемой одноосного прессования, но принципиально отличается от него, а

также от схемы всестороннего сжатия значительными сдвиговыми деформациями в зоне истечения металла.

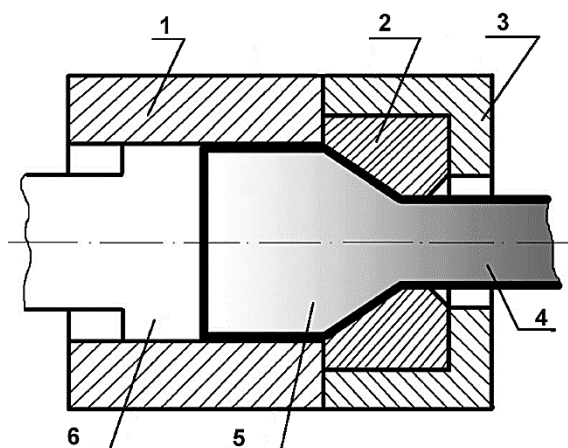


Рисунок 2 – Технологическая схема экструзии: 1 – контейнер пресса; 2 – матрица; 3 – обойма; 4,5 – экструдированная заготовка; 6 – плунжер пресса

Исследовали состав и содержание газов, выделяющихся из порошка при его нагреве под горячую экструзию. Навески порошка помещали в ампулы, вакуумировали, нагревали. При различных температурах отбирали выделяющиеся газы и анализировали их состав масс-спектрометрическим методом. В таблице 1 представлены результаты анализа газов, выделившихся из навески порошка быстрорежущей стали с исходным содержанием кислорода ~ 0,03% по массе.

Таблица 1 – Состав и содержание газов, выделившихся из порошка быстрорежущей стали при нагреве в вакууме

Температура, °С	Содержание газов, см ³ /100 г					
	H ₂	H ₂ O	N ₂	CO	CO ₂	Σгаз
500	2,1	2,2	0,8	2,2	1,4	8,7
750	7,4	0,8	0,7	2,1	1,0	12,0
1000	5,2	0,1	12,3	30,8	-	48,4
1100	6,5	-	3,0	10,6	-	20,1
Итого:	21,2	3,1	16,8	45,7	2,4	89,2

Как видно из приведенных данных, основная масса кислорода содержится в оксиде углерода, который выделяется, в основном, при температурах 1000 – 1100 °С. Сопоставление данных анализа с термодинамическими характеристиками

восстановления оксидов углеродом указывает на то, что в составе оксидной пленки на поверхности порошковых частиц преобладает оксид хрома. Этот оксид восстанавливается углеродом в вакууме, начиная с 900°C. При вакуум-термической дегазации с температурой 750°C восстановление оксида хрома не происходит, что наглядно подтверждают экспериментальные результаты таблицы 1.

Для устранения оксидной пленки в структуре компактной быстрорежущей стали в ЦНИИМ разработан способ горячей экструзии порошков с титановым геттером (а.с. №884859, 1980). Геттер в форме пористой титановой губки размещается вместе с порошком в капсуле. Далее капсула герметизируется без откачки воздуха. Это значительно упрощает и удешевляет подготовку капсул. При последующем нагреве капсул с порошком под экструзию титановый геттер поглощает воздух, оставшийся в капсуле, создавая в ней вакуум. В вакууме при 1000 – 1100°C интенсифицируется процесс восстановления оксидов углеродом. Воздух и образовавшийся при восстановлении оксид углерода поглощается титановым геттером. В результате формируется чистая поверхность частиц порошка и они прочно свариваются друг с другом в процессе экструзии.

Опытные партии прутков диаметром 30-40 мм получали экструзией капсул со свободно засыпанным порошком. Детали капсул (корпус и крышки) изготавливали из низкоуглеродистой стали 20. Нижнюю крышку приваривали к корпусу и в образовавшийся стакан засыпали с виброуплотнением распыленный порошок. Плотность засыпки 65 – 70 %.

Подготовленные описанным образом капсулы с порошком сажали в муфельную электропечь нагретую до 1150°C и выдерживали в течение 1 ч, после чего капсулы экструдировали на гидравлическом прессе с усилием 6 МН (600 тс). Экструдированные прутки рихтовали, обрезали дефектные концевые части прутков и токарной обработкой удаляли с поверхности прутков остатки корпуса капсулы. Часть прутков подвергали ротационной ковке и волочению для получения проволоки. По результатам работ был запатентован способ горячей экструзии порошков быстрорежущей стали (а.с. № 417246, 1972 г.).

Для экспериментальной проверки работы геттера и влияния остаточного содержания кислорода на механические свойства экструдированного металла изготовили опытные партии прутков из капсул, содержащих порошок стали 10P6M5 и титановый геттер в форме пористой губки (0,3% от массы порошка). Воздух из капсул не откачивался. Из прутков изготовили образцы для определения кислорода, предела прочности на изгиб и ударной вязкости. Образцы перед испытанием подвергли закалке и отпуску по стандартному для стали P6M5 режиму. Установлено, что содержание кислорода в стали снизилось с 0,03 % до 0,01%, предел прочности повысился до 4470 МПа и ударная вязкость составила 565 кДж/м².

Экспериментально установлено, что для получения такого уровня механических свойств экструдированной порошковой быстрорежущей стали необходимо осуществлять деформацию заготовок с вытяжкой $\lambda \geq 10$. Однако столь высокие деформации при экструзии приводили к высоким потерям (до 30 % по массе) дорогостоящей порошковой быстрорежущей стали при удалении оболочки [1].

Опыт, накопленный в ЦНИИМ, были использованы при создании промышленного производства ПБС по кооперации НПО «Тулачермет» – металлургический завод «Электросталь». В НПО «Тулачермет» (ныне АО «Полема») был создан производственный цех распыленных металлических порошков, оборудованный восемью установками газового распыления. Эти установки производили порошки наплавочных материалов и быстрорежущих сталей. В цехе также имелось оборудование для капсулирования порошков. Освоено производство порошков марок 10P6M5-МП, P10Ф1K8M6-МП, P0M2Ф3-МП и др. Порошки с виброуплотнением засыпали в моно- и биметаллические капсулы диаметром 325 мм и высотой 650 мм (рис.4). Капсулы экструдировали на горизонтальном гидравлическом прессе завода «Электросталь» усилием 63 МН (6300 тс) на прутки диаметром 80 – 120 мм. Стойкость порошкового инструмента в 2 – 6 раз превысила стойкость аналогов из стандартных (слиточных) быстрорежущих сталей [2]. В 90-е годы в связи с экономическим кризисом и отсутствием заказов отечественное



производство ПБС прекратилось.

Вновь возобновить работу по воссозданию ранее разработанной технологии удалось только в 2006 г., когда по инициативе ЦНИИМ тема «Инструмент» была включена в ФЦП «Национальная технологическая база». Для проведения работ по теме создан консорциум ЦНИИМ – СПбПУ, который совместно с АО «Полема» в 2007 – 2009 годах возродил опытно-промышленную технологию производства распыленных порошков, сортовых прутков и экструдированных заготовок из ПБС Р6М5-МП.

Горячая деформация пористых тел является более сложным процессом в сравнении с деформацией компактного металла. При деформации пористых брикетов происходит изменение не только размеров, но и объема деформированной заготовки. Одновременно с изменением объема меняются прочностные и упругие свойства материала пористого тела, уменьшается поверхность трения между деформируемой заготовкой и контейнером пресса и т. д.

Широкое развитие методов математического моделирования деформируемых сред на рубеже XX – XXI веков позволило производить более точные расчеты процесса горячей экструзии порошковых быстрорежущих сталей, чем это было возможно на этапе зарождения технологии.

Для учета уплотнения пористого материала к системе уравнений равновесия (1) добавляют условие изменения объема (2), а условие пластичности Губера-Мизеса заменяют эллиптическим условием пластичности [3].

$$\left\{ \sum_r \left(\int_{V^r} s_{ij} \delta \dot{\varepsilon}_{ij} dV^r + \int_{V^r} \sigma_0 \delta \dot{\varepsilon}_0 dV^r \right) \right\} = \sum_r \int_{S^r} p_i \delta U_i dS^r \quad (1)$$

$$\left\{ \sum_r \int_{V^r} \left(\dot{\varepsilon}_0 - \frac{\sigma_0}{K \Delta \tau} \right) dV^r \right\} = - \sum_r \int_{V^r} \frac{\sigma_0^*}{k \Delta \tau} dV^r \quad (2)$$

Построение эллиптического условия пластичности в исследуемом диапазоне изменения плотности пористого материала связано с необходимостью получения двух механических характеристик пористого материала: p_s – предела текучести на гидростатическое сжатие и τ_s – предела текучести на чистый сдвиг.

Кривые текучести (эллиптическое условие) в диапазоне изменения относительной плотности ρ в диапазоне от 0,70 до

0,975 получены авторами работы [4]. Зависимости пределов текучести на гидростатическое сжатие и чистый сдвиг пористого материала быстрорежущей стали Р6М5 при температуре $T=1050^\circ$ приведены в работе [5].

Математическое моделирование процесса горячей экструзии порошковой быстрорежущей стали проведено с использованием программного обеспечения Multidef, разработанного в СПбПУ для расчета уплотняемых сред методом конечных элементов. Механические свойства пористого материала заданы пределами текучести на гидростатическое сжатие (p_s) и чистый сдвиг (τ_s) в зависимости от относительной плотности и рассчитаны Ю.И. Рыбиным и А.Э. Александровым по методике работы [4]. Коэффициент Пуассона принят равным $\nu=0,3$.

В результате проведенного математического моделирования процесса горячей экструзии установлено, что для успешного компактирования ПБС достаточно применение вытяжки $\lambda = 4$ [6]. Практическая реализация полученных расчетных данных осуществлена на промышленном оборудовании АО «Полема». Показано, что проведение горячей экструзии капсул ПБС с вытяжкой $\lambda = 4$ позволяет получить полуфабрикаты с остаточной пористостью 1 – 3 %. При механической обработке проэкструдированных прутков потеряно 9% (масс.) быстрорежущей стали, что является значительным снижением потерь металла в сравнении с выше описанной технологией советского периода.

Дополнительная пластическая деформация методами прокатки иковки экструдированных прутков позволила добиться значений временного сопротивления на уровне $\sigma_{в}^{изг} = 4500 \div 5000$ МПа. Сравнение структуры ПБС, полученной в ходе опытных работ и структуры традиционной (непорошковой) стали Р6М5 приведено на рисунке 3 [6].

В отличие от непорошковой стали, в структуре ПБС можно отметить довольно равномерное распределение карбидных включений по поверхности шлифа. Площадь, занимаемая карбидной фазой, практически не изменяется при рассмотрении разных участков шлифа и составляет 6% поверхности. Диаметр карбидов не превышает 2,5 мкм, в то время как в непорошковой стали можно наблюдать как относительно

мелкие карбиды диаметром 2 мкм, так и довольно крупные, диаметром 5 – 6 мкм. Структура аустенитного зерна ПБС после закалки отвечает 12-му баллу, в то время как в непорошковой стали Р6М5 в основном наблюдается 8 – 9 балл (рисунок 4).

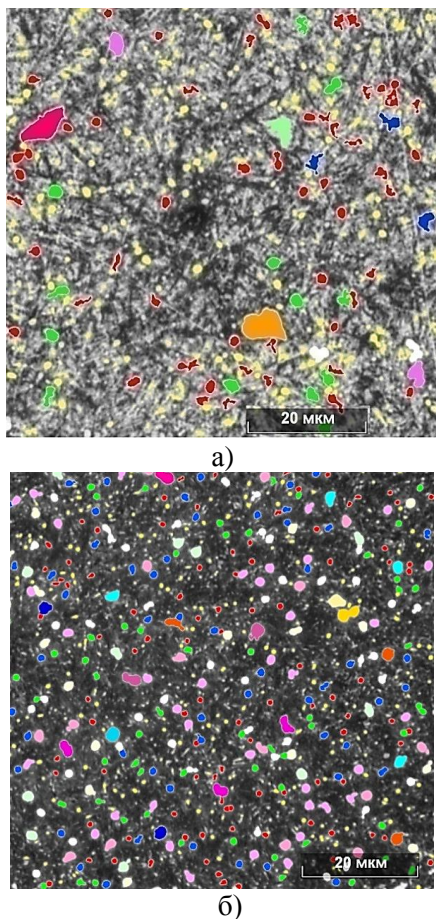


Рисунок 3 – Структура традиционной (а) и порошковой (б) быстрорежущей стали

Выводы

1. Разработана технология получения полуфабриката из быстрорежущей стали, включающая основные этапы производства, в основу которой положена горячая экструзия порошкового материала в металлической оболочке.

2. Установлено, что повышение прочностных свойств порошковой быстрорежущей стали достигается благодаря формированию в структуре равномерно распределенных карбидов относительно небольшого размера и однородной мелкозернистой структуры аустенитного зерна после закалки. Дополнительная горячая деформация заготовок позволяет повысить предел

прочности порошковой стали Р6М5-МП до значений $\sigma_{\text{в}}^{\text{изг}} = 4500 \div 5000$ МПа.

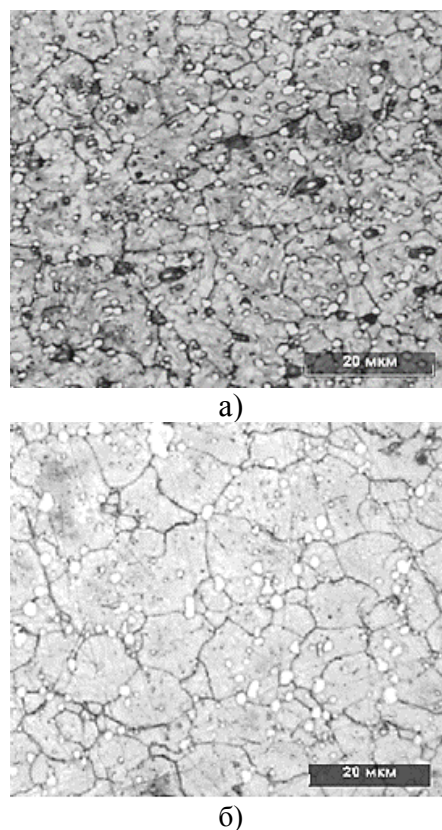


Рисунок 4 – Структуры традиционной (а) и порошковой (б) быстрорежущей стали после закалки

Список литературы

1. Гиршов В.Л. Процессы порошковой металлургии. СПб.: СПбГПУ, 2003. – 113 с.
2. Гиршов В. Л. Техничко-экономические преимущества порошковых быстрорежущих сталей // Металлообработка. 2001. №4. С. 40-42.
3. Цеменко В.Н. Деформирование порошковых сред. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001, – 104с.
4. Рыбин Ю.И., Александров А.Э. Модель уплотнения пористого тела. Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов: Труды международной научно-технической конференции / Ю.И. Рыбин. СПб.: Изд-во СПбГПУ. – 2005. – с.111-114.
5. Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов / И.Л. Перлин. – М.: Металлургия, 1975. – 447с.
6. Цеменко В.Н., Гиршов В.Л., Мазуров С.А. Моделирование и исследование процесса получения заготовок для инструмента из порошковой быстрорежущей стали // Заготовительные производства в машиностроении. Кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства. – 2012. – №10. – с.18-21