



*Complex research of the powders received by means of attritor dispersion of the chips waste, formed at restoration of working surfaces of forming rolls and rollers at OAO "BMZ" is given. Results of experimental researches of grinding process are given, the optimum conditions of grinding are defined. The structure- and phase-formation of powder compositions on the basis of the hard a tungsten-containing alloys waste depending on grinding regimes is investigated.*

*М. Н. ВЕРЕЩАГИН, ГГТУ им. П. О. Сухого, Г. Г. ГОРАНСКИЙ, БНТУ, С. И. КИРИЛЮК,  
И. В. АГУНОВИЧ, ГГТУ им. П. О. Сухого*

УДК 621.7.014

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРО- И ФАЗООБРАЗОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ТВЕРДЫХ ВОЛЬФРАМОСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ ПРИ ИХ МЕХАНОСИНТЕЗЕ И ВЫСОКОСКОРОСТНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ДИСПЕРГИРОВАНИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

**Введение.** Разработка порошковых композиций на основе диспергированных отходов твердого сплава является перспективным направлением в создании новых материалов современного производства в связи с ограниченностью Республики Беларусь собственными ресурсами. Мировые тенденции развития новых технологий в прокатном и волочильном производствах связаны с повышением скоростей и нагрузок на используемый инструмент, в особенности на формообразующие, калибрующие и поворотные фильеры. При ограниченном времени эксплуатации фильер и значительных потребностях в них предприятиям РБ требуются существенные валютные затраты на закупку готового инструмента и дорогостоящего импортного сырья (порошков твердых сплавов). В качестве замены импортных материалов целесообразна разработка технологии изготовления фильер из отходов металлургических и машиностроительных производств (прежде всего на основе стружки, образующейся при механической обработке деталей из твердых сплавов на ряде предприятий РБ, в частности, на ОАО «БМЗ», ЗАО «Атлант» БСЗ и др.).

Основой для создания полной технологии получения из отходов твердых сплавов порошковых композиций для импульсного электроконтактного спекания правящих и направляющих фильер прокатного и волочильного оборудования с повышенным уровнем триботехнических и эксплуатацион-

ных свойств является комплексное исследование процессов структуро- и фазообразования порошковых смесей на основе отходов твердых вольфрамсодержащих сплавов при их механосинтезе и высокоскоростном механическом диспергировании. Необходимо выделить основные параметры и определить рациональные схемы высокоэнергетических процессов высокоскоростного диспергирования в атриторах, провести оптимизацию состава порошкового материала и режимов высокоэнергетических процессов его получения, что и является целью данной работы.

**Методика исследований.** Исходным материалом для исследований служил порошок твердого сплава, полученный методом атриторного диспергирования отходов стружки, образующейся при восстановлении рабочих поверхностей прокатных валков и роликов на ОАО «БМЗ». Элементный состав исходного материала соответствует сплаву ВК6. Общий вид перерабатываемых отходов приведен на рис. 1.

Стружку твердого сплава измельчали в планетарной мельнице фирмы «Fritch» с попарно расположенными стаканами при следующих технологических режимах: рабочий объем мельницы 0,55 л, число оборотов  $n = 200$  об/мин. Мелющими телами служили шарики из стали ШХ15 диаметром 20 и 24 мм. Коэффициенты заполнения рабочего объема измельчающим материалом и размольными телами соответственно составляли 57 и 49%. Ко-

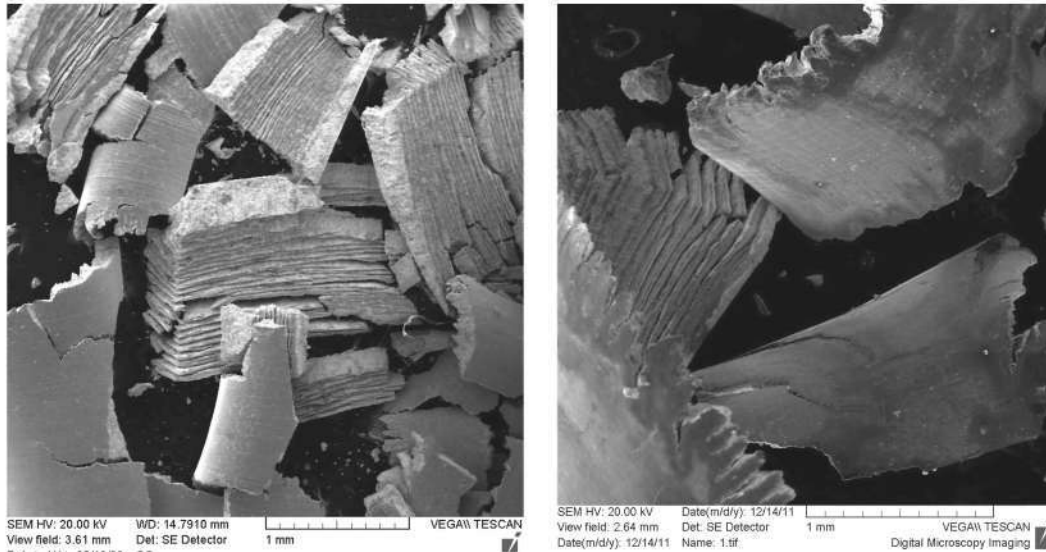


Рис. 1. Стружка твердого сплава перед атриторной обработкой

эфициенты заполнения рабочего объема размольными телами – 15 и 20%, а коэффициенты заполнения рабочего объема измельчающим материалом – 42 и 29% соответственно на начальном этапе. Процесс измельчения протекал в течение 45 мин. Контроль и рассев по фракциям на лабораторном наборе сит осуществляли через 5, 10, 15, 25, 30, 35, 45 мин. Оценку гранулометрического состава материала до и после атриторного диспергирования проводили при помощи сканирующего электронного микроскопа TESCAN Vega II LSH и металлографического микроскопа METAM PB-22. Для исследования зависимости гранулометрического состава от времени размола и типа лент после определенной продолжительности процесса из планетарной мельницы брали пробу и методом случайных секущих определяли гранулометрический

состав, средний размер и удельную поверхность частиц порошка (рис. 2).

Для систематизации большого объема экспериментальных данных, полученных при исследовании свойств и оптимизации режимов размола, была проведена математическая обработка результатов экспериментов методами регрессионного анализа [1]. В качестве параметра оптимизации процесса размола выбрали количество выхода металлического порошка с размером фракции менее 50 мкм.

Изучали влияние на параметр оптимизации следующих факторов:  $n$  – частота вращения в планетарной мельнице, об/мин;  $t$  – время размола, мин;  $\Delta V = \frac{V_1}{V_2}$  – коэффициент заполнения рабочего объема в планетарной мельнице размольными телами ( $V_1$  – объем размольных тел;  $V_2$  – рабочий объем в планетарной мельнице);  $\Delta m = \frac{m_1}{m_2}$  – соотношение масс размалываемого материала к массе размольных тел. Для изучения влияния указанных факторов на параметр оптимизации использовали методику планирования активного эксперимента с построением регрессионной зависимости.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Размол в планетарных мельницах относится к наиболее производительным видам механического измельчения [2], обеспечивающим получение при достаточно высокой производительности порошков высокой дисперсности. Однако по сравнению с другими способами размола (в гравитационных шаровых или вибрационных мельницах) процесс измельчения в аппаратах этого вида всесторонне не изучен, а сообщаемые о нем сведения порой довольно противоречивы, особенно данные по за-

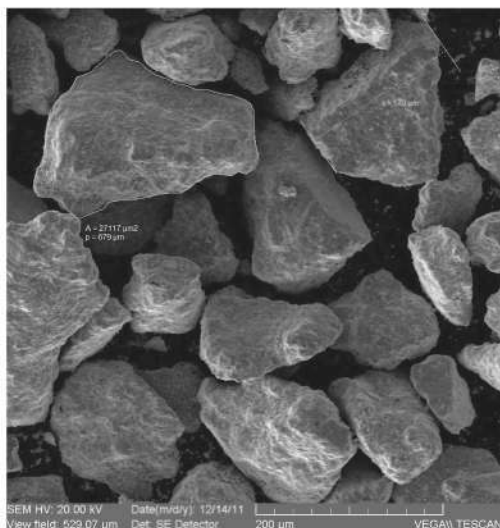


Рис. 2. Порошок твердого сплава после атриторной обработки в течение 45 мин

Фракционный состав порошка до размола

Размер частиц, мкм	менее 50	63- 50	100- 63	160-100	200-160	315-200	400-315	630-400	1000-630	1600-1000	2500-1600
Содержание, %	0,48	0,28	0,48	0,53	0,62	3,07	5,44	19,49	26,39	32,97	10,16

грязнению порошков намотыми примесями. В связи с этим в настоящей работе проводили систематические исследования по определению оптимальных режимов (с точки зрения получения максимально дисперсных порошков при минимальном загрязнении их примесями), а также по установлению некоторых закономерностей и технологических особенностей атриторного размола стружки твердого сплава.

Фракционный состав порошка (стружки) в исходном состоянии приведен в таблице.

Микроструктура стружки перед диспергированием приведена на рис. 3.

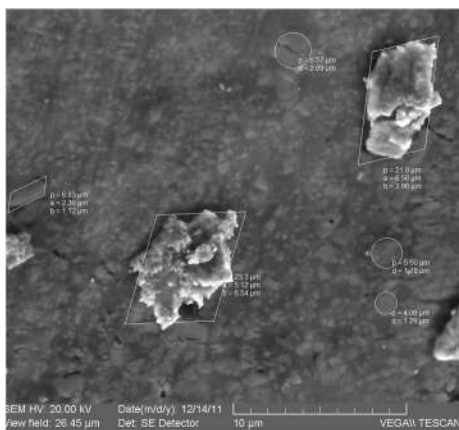
На рисунке четко видны скопления карбида вольфрама в кобальтовой связке неправильной формы (рис. 3, а), равномерно распределенные по объему стружки (рис. 3, б), а также незначительные дефекты в виде трещин, связанные с особенностями механической обработки при получении струж-

ки. Размеры отдельных карбидных включений достигают 10 мкм при их средней величине 6–8 мкм. Размеры же зерен кобальтовой связки составляют порядка 0,2–1,0 мкм.

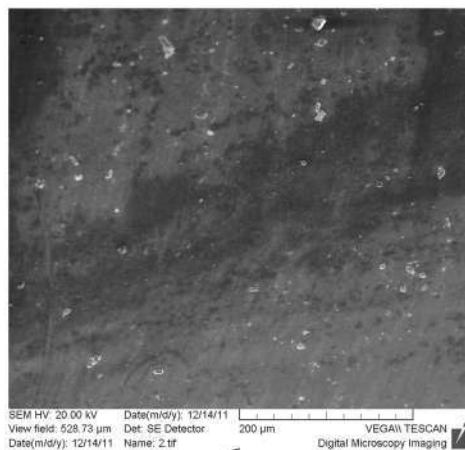
Процесс получения металлических порошков, их качество и геометрические размеры находятся в зависимости от технологических характеристик процесса размола и свойств размалываемого материала.

Для установления рациональных режимов получения порошков путем размола металлической стружки проводили исследование процесса размола при различных технологических параметрах. Геометрические размеры металлических порошков и их технологические параметры при этом зависят от целого ряда факторов.

Размол проводили в планетарной мельнице фирмы «Fritch» с попарно расположенными стаканами. Процесс измельчения протекал в течение 45 мин. Контроль и рассев проводили через 5, 10, 15, 25, 30, 35, 45 мин. На первом этапе наблюдалось интенсивное измельчение стружки до размеров частиц 315 мкм. После 30 мин размола основную массу составляли частицы размером менее 315 мкм к 1 мкм. Далее происходило более интенсивное уменьшение размеров частиц, причем наблюдалось почернение порошка, что связано с увеличением намота материала размольных тел и футеровки. Фракционный состав определяли с помощью ситового анализа. После 45 мин размола шарами диаметром 20 мм порошок имел фракционный состав, показанный на рис. 4.



а



б

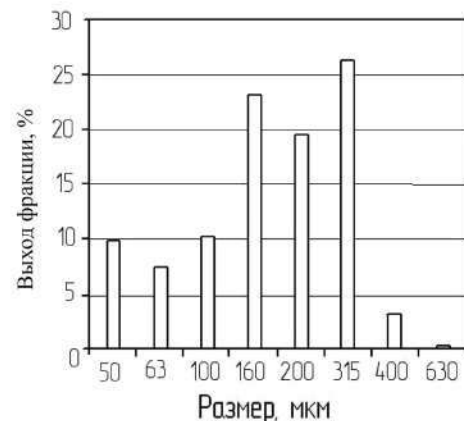


Рис. 4. Фракционный состав порошка после 45 мин размола шарами диаметром 20 мм

Рис. 3. Микроструктура стружки перед диспергированием

Структура полученного порошка твердого сплава с различной степенью увеличения после 45 мин размола шарами диаметром 20 мм показана на рис. 5. Форма частиц при помоле – осколочная, частично-сфероидальная. Если при последующем спекании полученный материал сохранит данную размерность зерна (что предполагается), структуру можно будет отнести к мелкозернистой (сплав ВК6М), что значительно повысит износостойкость полученного материала без существенного снижения его прочности по сравнению со спеченным материалом из крупнозернистого порошка, полученного в обычных шаровых мельницах.

На рис. 6 показана кинетика измельчения стружки шарами диаметром 20 мм. Для начала хрупкого разрушения металлов необходимо затратить некоторое количество энергии, расходуемой на пластическую и упругую деформации. Из кинетической кривой следует, что начальный период отмечается повышением его кривой интенсивности измельчения, которая достигает максимума в момент, когда все или большинство частиц порошка делаются упругими вследствие их наклепа, после чего ста-

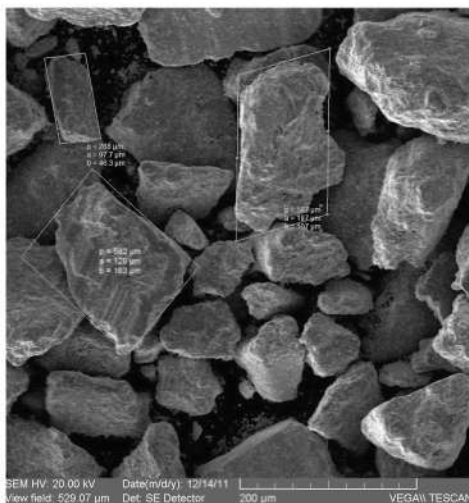
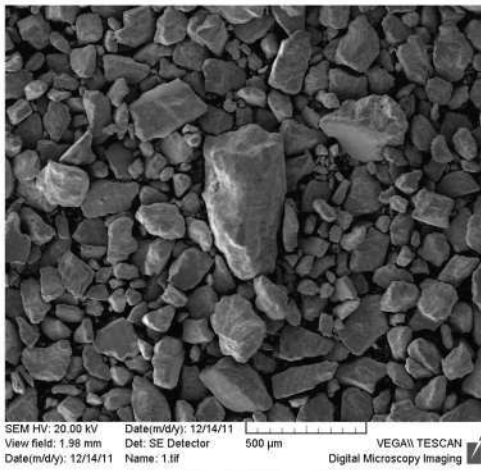


Рис. 5. Структура порошка после размола в течение 45 мин

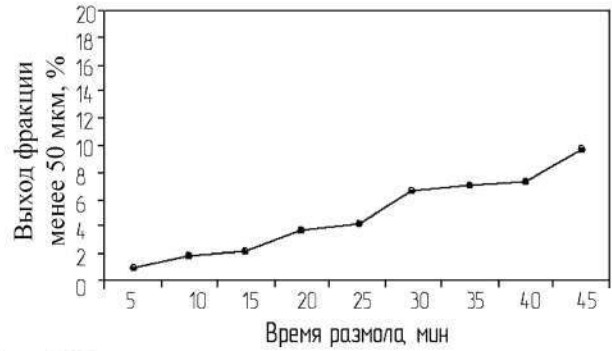


Рис. 6. Кинетика измельчения стружки шарами диаметром 20 мм в планетарной мельнице

новится возможным хрупкое разрушение. Размол на начальном этапе происходит более интенсивно, при дальнейшем измельчении скорость размола уменьшается, это, по всей видимости, связано с приданием частицам порошка сферообразной формы и их наклепом.

Исследование проводили также размолем стружки шарами другого диаметра. После 45 мин размола шарами диаметром 24 мм порошок имел фракционный состав, приведенный на рис. 7.

При измельчении стружки шарами большего размера наблюдается существенное увеличение более мелкой фракции порошка при одном и том же времени измельчения. При этом изменений в форме зерна обнаружено не было.

На рис. 8 показана кинетика измельчения стружки шарами диаметром 24 мм. Из кинетической кривой следует, что начальный период времени размола в данном случае также отличается наибольшей интенсивностью измельчения, как и при размоле шарами диаметром 20 мм. Сопоставляя рис. 6 и 8, видно, что при размоле стружки твердого сплава шарами диаметром 24 мм наблюдается более интенсивное измельчение. Скорость измельчения шарами диаметром 24 мм на начальном этапе примерно в 2 раза выше скорости измельчения шарами диаметром 20 мм. Это обуславливается тем, что шары диаметром 24 мм обладают большей

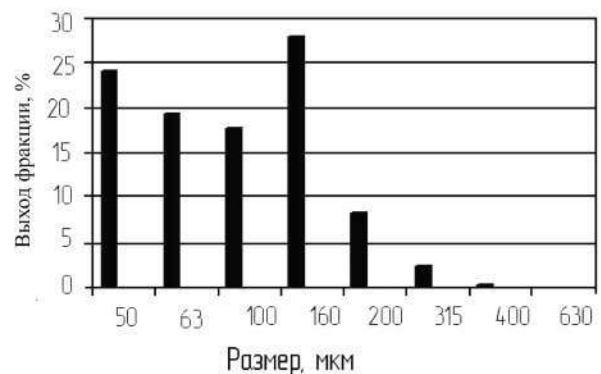


Рис. 7. Фракционный состав порошка после 45 мин размола шарами диаметром 24 мм



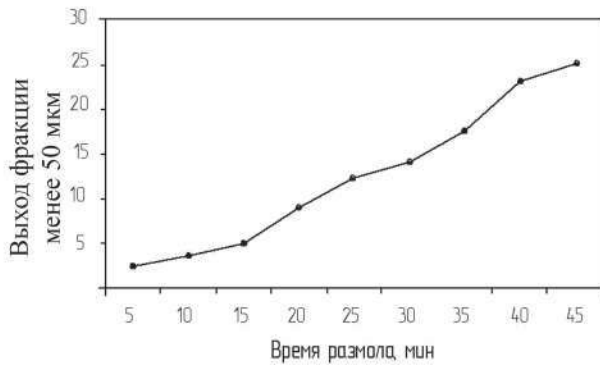


Рис. 8. Кинетика измельчения стружки шарами диаметром 24 мм в планетарной мельнице

энергией удара, так как их масса примерно в 1,7 раз выше массы шаров диаметром 20 мм, а также тем, что на начальном этапе преобладает ударный механизм размола. На интенсивность размола также оказывает влияние соотношение объемов размольных тел и порошка. При размоле шарами диаметром 20 мм соотношение составляло 1,0:2,6, при размоле шарами диаметром 24 мм – 1,0:1,5. Вероятно, при меньшем количестве шаров повышается их кинетическая энергия вследствие увеличения траектории, но снижается интенсивность ударов частиц порошка.

В свою очередь при большом содержании шаров (более 50–60%) в результате сокращения пути движения значительно уменьшается их кинетическая энергия и разمول в основном происходит за счет истирания частиц стружки между размольными телами. Поскольку частицы стружки обладают достаточно высокими механическими характеристиками, то оптимальным является сочетание истирающего и ударного механизмов разрушения. На эффективность измельчения влияет также диаметр шаров, от которого зависят количество и интенсивность ударов в единицу времени, а также число точек соприкосновения между мелющими телами. С увеличением диаметра шаров количество точек контакта уменьшается, снижается и на-мол железа. Установлено, что наиболее оптимальным является сочетание шаров меньшего диаметра с шарами большего диаметра. Шары большего диаметра, обладая большей кинетической энергией, облада-

ют и большей энергией удара, а шары меньшего диаметра обеспечивают большее количество точек соприкосновения, что в свою очередь также способствует измельчению, улучшает качество измельчения.

### Выводы

1. Исследования показали, что фракционный состав порошков (размер и форма частиц), а также скорость измельчения существенно зависят от времени размола, диаметра и количества размольных шаров. На интенсивность размола оказывает влияние соотношение объемов размольных тел и порошка. Установлено, что наиболее оптимальным является сочетание шаров меньшего диаметра с шарами большего диаметра. Шары большего диаметра, обладая большей кинетической энергией, обладают и большей энергией удара, а шары меньшего диаметра обеспечивают большее количество точек соприкосновения, что в свою очередь также способствует измельчению, улучшает качество измельчения.

2. Наиболее эффективный разمول происходит на начальном этапе диспергирования. При дальнейшем измельчении скорость размола уменьшается. Это связано с приданием частицам порошка сферообразной формы и их наклепом.

3. Приведены результаты экспериментальных исследований процесса размола, определены зависимости между режимами размола. Установлено, что оптимальным с точки зрения получения металлических порошков размером менее 50 мкм является разمول при оптимальных технологических режимах, в результате применения которых значительно повышается эффективность размола. Как показали исследования, основными факторами, влияющими на разمول стружки, являются заполнение рабочего объема шарами и соотношение масс шаров и загружаемой ленты. Оптимальными режимами размола являются частота вращения  $n = 200$  об/мин, заполнение шарами рабочего объема 55%, соотношение масс размольных тел и порошка 1,5.

4. Полученные результаты являются основой для комплексного исследования эволюции строения и свойств вольфрамсодержащих твердых сплавов при их изготовлении, формообразовании и эксплуатации.

### Литература

1. А с а т у р я н В. И. Теория планирования эксперимента. М.: Радио и связь, 1983.
2. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / В. А. Анциферов, Г. В. Бобров, Л. К. Дружинин и др. М.: Металлургия, 1987.