

С.А. Оглезнева

Научный центр порошкового материаловедения
Пермского государственного технического университета

АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА СТАЛЬНОЙ МЕТАСТАБИЛЬНОЙ СВЯЗКЕ ДЛЯ РЕЗКИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Исследована структура и свойства алмазного инструмента со стальными порошковыми матрицами. Показана зависимость физико-механических и эксплуатационных свойств металлических матриц от объема деформационного фазового превращения аустенита в мартенсит. Выбран оптимальный состав матрицы.

Алмазный инструмент содержит в своей структуре алмазные зерна, зерна наполнителя (обычно карбидов) и связку (матрицу), удерживающую абразивные зерна. Основные требования к связкам алмазного инструмента, широко применяемого в камнеобрабатывающей промышленности: оптимальная твердость и износостойкость, так как износ связки происходит под действием осколков разрушаемой горной породы; определенная прочность, чтобы удерживать алмазное зерно до его полного износа и в то же время изнашиваться с такой же интенсивностью, как и алмаз [1, 2]; оптимально упругая характеристика для обеспечения нормального процесса резания: при слишком большой податливости связки зерно под действием ударной нагрузки входит в нее и теряет возможность участвовать в процессе резания, при недостаточной упругости связки зерно разрушается между двумя жесткими поверхностями и из-за этого не участвует в процессе резания [3]. Необходимыми характеристиками являются также состав, структура, коэффициент трения, теплофизические характеристики. Важно также, чтобы связка имела поры для размещения стружки [2] (не более 25 %) во избежание катастрофической потери прочности инструмента [3, 4].

Известное направление повышения служебных характеристик алмазного инструмента – создание термодинамически неравновесной структуры путем сверхскоростной закалки или использования дисперсных порошков [2]. Неравновесность структуры может быть реализована также при формировании в связке метастабильных фаз, которые при фазовом превращении способствуют упрочнению связки и закреплению алмазных зерен, что улучшает эксплуатационные свойства алмазного инструмента. Поверхностные рабочие слои деталей из метастабильных материалов изменяют свой фазовый состав

и свойства в процессе самого рабочего нагружения, значительно упрочняясь за счет образования мартенсита деформации [5]. Деформационное упрочнение аустенита обусловлено процессами, приводящими к повышению общей плотности дислокаций, изменению характера их распределения [6], а также образованием мартенсита деформации (фазы с более высокой твердостью) и созданием в зернах аустенита прочного каркаса из пластин мартенсита, препятствующих сдвиговым процессам в аустените.

Целью работы было исследовать фазовые превращения в структуре и режущие свойства алмазного инструмента в зависимости от фазового состава матрицы, содержащей метастабильный аустенит.

Для изготовления образцов связки алмазного инструмента использовались карбонильные порошки железа Р-10 и никеля ПНК-ОТ4 с размерами частиц 3–5 мкм, порошок карбида титана углетермического со средним размером частиц 5 мкм. Порошки компонентов смешивали, дважды прессовали холодным способом при давлении 200 и 400 МПа с промежуточным отжигом, окончательно спекали при температурах 900–1000 °С в атмосфере водорода. Структуру, фазовый состав и триботехнические характеристики изучали на образцах матриц из сталей, содержащих по 8 мас. % карбида титана, 6–18 мас. % никеля, 0,2–0,3 мас. % углерода, остальное – железо. Структуру изучали методами оптической микроскопии и микродюрометрии. Фазовый состав – рентгенофазовым анализом на установке ДРОН-4 в CoK_α -излучении. Количественное содержание фаз определяли по интенсивности отраженного рентгеновского излучения, которое вычисляли по площадям пиков дифрактограмм. Гомогенизацию в системе «железо – никель» изучали с помощью микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа (МРСА). Триботехнические характеристики определяли на машине трения СМЦ-2 при трении по абразивному телу из корунда. Для испытаний режущих свойств к каждому составу добавляли по 12,5 об. % синтетического алмазного порошка АС65 зернистостью 400/315. Режущие свойства алмазного инструмента определяли в лабораторных и производственных условиях.

После спекания во всех сталях сформировались α -фаза (феррит + перлит) и γ -фаза (аустенит) на основе железа (рис. 1, 2), количество которого было пропорционально содержанию никеля и зависело от температуры спекания незначительно (рис. 3).

Гомогенность распределения никеля в сталях при спекании, определяемая по коэффициенту вариации концентрации никеля, зависела от температуры спекания и концентрации никеля: чем выше была температура и чем больше было никеля в стали, тем однороднее формировался твердый раствор (рис. 4).

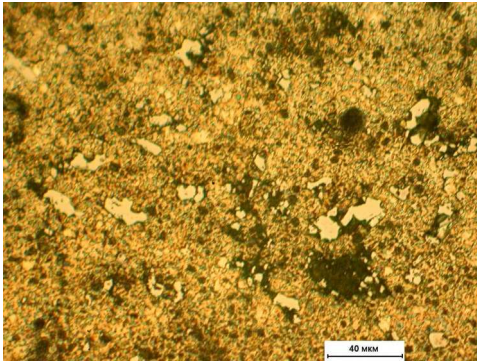


Рис. 1. Структура матрицы алмазного инструмента, травлено. Светлые включения – карбид титана

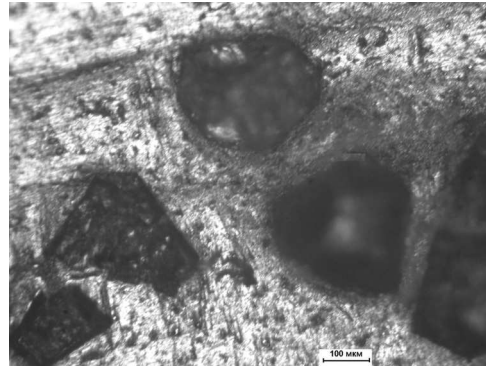


Рис. 2. Структура алмазного инструмента

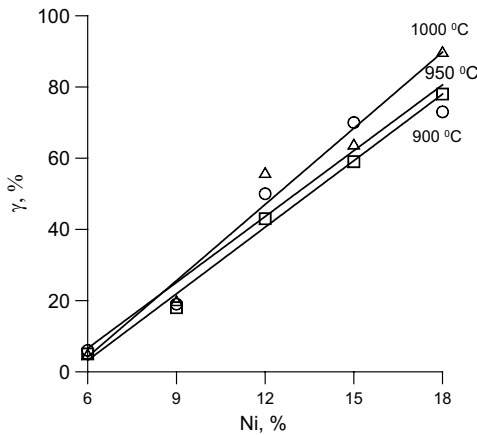


Рис. 3. Количество γ -фазы в зависимости от содержания никеля в спеченных образцах

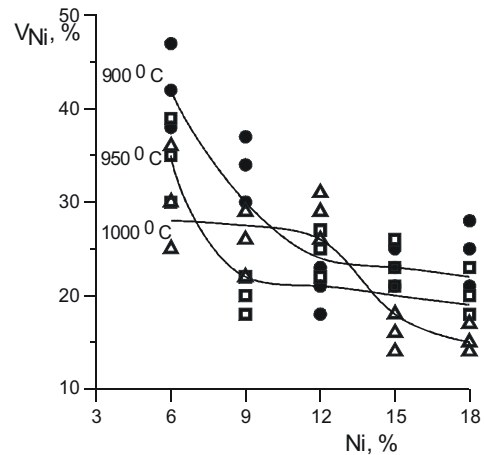


Рис. 4. Коэффициент вариации концентрации никеля в спеченных при 900, 950, 1000 °C порошковых сталях

Степень устойчивости аустенита оценивали экспериментально по диаграммам изотермического распада аустенита [7]. Анализ С-образных кривых показал, что увеличение содержания никеля и температуры спекания приводит к повышению устойчивости аустенита: С-образные кривые смещаются вправо, в сторону увеличения продолжительности распада.

Установлено, что негомогенность твердого раствора системы «железо – никель» оказывает значительное влияние на кинетику распада переохлажденного аустенита: устойчивость аустенита более гомогенных растворов в данных сталях (спеченных при 1000 °C) высока даже при наличии пористости и карбидов [7].

Особенности структуры исследованных порошковых никелевых сталей, выявленные при изучении гомогенизации стали, оказали существенное влияние на свойства этих сталей. При испытаниях на трение γ -фаза (аустенит) превращалась в α' -фазу (мартенсит деформации), рис. 5. Аналогичные явления были обнаружены при исследовании микротвердости, прочности и ударной вязкости. Объем фазовых превращений ($\Delta V_{\gamma-Fe}$) был максимален в сталях с содержанием никеля 12–15 % (КВК никеля 15–25 %). Максимум твердости (рис. 6), обусловленный превращением метастабильного аустенита в мартенсит при вдавлении индентора, установлен при тех же концентрациях никеля. Незначительный объем фазового превращения и пониженные значения твердости зафиксированы при содержании никеля 6–9 и 18 %. В первом случае обсуждаемое явление обусловлено низким содержанием аустенита в исходной структуре, а во втором – более высокой стабильностью аустенита. Объем фазовых превращений ($\Delta V_{\gamma-Fe}$) в стали с 12 % Ni составил 10 %, а в стали с 15 % Ni – 20 % (при температуре спекания 950 °С). Увеличение объема γ - α' -превращений в стали, содержащей 15 % никеля, может быть связано с формированием большего количества метастабильного аустенита в исходной структуре. Ширина зоны фазовых превращений s , определенная по микротвердости в зоне трения, также подтверждает, что больший объем превращений произошел в стали с 15 % Ni – $s = 300$ мкм, в стали с 12 % Ni $s = 100$ мкм.

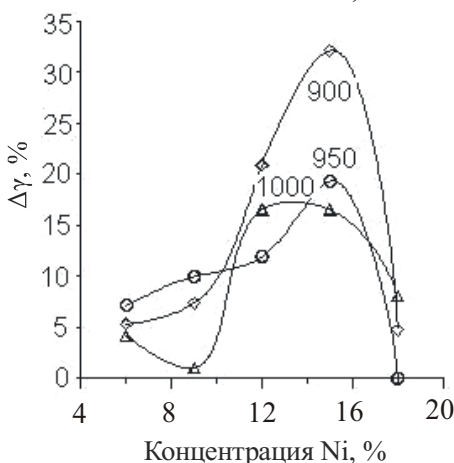


Рис. 5. Объем фазового превращения $\Delta\gamma$ при трении в сталях с различным содержанием никеля, спеченных при различных температурах, °С

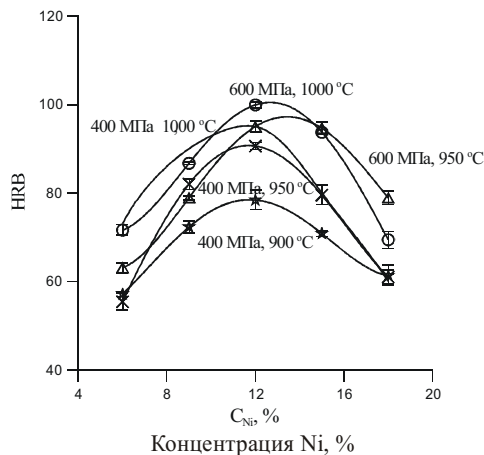


Рис. 6. Твердость сталей с различным содержанием никеля, спрессованных при давлении 400–600 МПа и спеченных при температурах 900–1000 °С

Исследовано влияние фазовых превращений на удельный расход алмазов и производительность алмазного инструмента на основе металлической метастабильной связки по разработанной лабораторной методике [8].

При трении по абразиву алмазного инструмента с концентрационно-неоднородной матрицей на основе железа, легированного никелем, происходило деформационное аустенитно-мартенситное превращение. Коэффициент шлифования ($K_{\text{шлиф}}$ – отношение потери массы инструмента к массе сошлифованного абразива) зависел от объема аустенитно-мартенситного превращения прямо пропорционально. При испытаниях режущих свойств наилучшее значение коэффициента шлифования показал алмазный инструмент на основе стали с 12 % Ni (рис. 7). Наименьшее значение коэффициента шлифования было у инструментов на основе сталей с 6 и 18 % Ni, что объясняется их низкой твердостью при отсутствии фазового превращения: в связке 6 % Ni – из-за отсутствия метастабильного аустенита, а в связках с 18–21 % Ni – из-за высокой стабильности аустенита.

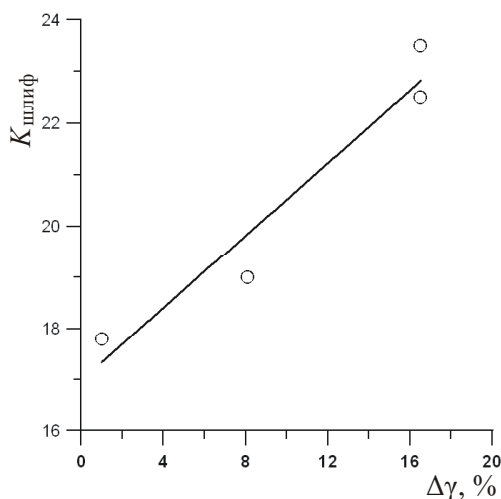


Рис. 7. Зависимость коэффициента шлифования $K_{\text{шлиф}}$ инструмента, содержащего 12,5 % алмазного порошка, от объема фазового превращения при трении в связке инструмента. $T_{\text{сп}} = 1000$ °С

Улучшение свойств обусловлено расходом части энергии разрушения на деформационное превращение остаточного аустенита в мартенсит при нагружении. Превращение «аустенит – мартенсит» происходит с увеличением объема материала, что способствует дополнительному закреплению зерен в связке и улучшению режущих свойств.

Исследовали влияние различных производственных факторов на производительность алмазного инструмента и расход алмазов в нем на операции грубой шлифовки (обдирки). Испытаны три состава, отличающихся содержанием никеля (табл. 1).

Таблица 1

Фазовый состав и свойства связок АИ

Содержание Ni, %	Пористость, %	HRB	γ , %	$\Delta\gamma$, %, после трения	$K_{\text{шлиф}}$
6	21	70	9	4	17,5
12	21	95	44	17	24
18	20	70	82	8	20

Варьировали расход воды (л/мин), давление прижима (кгс/см²) и прочность обрабатываемой поверхности (породу камня), табл. 2. Из данных рис. 8 видно, что при 12%-ном содержании Ni в связке наблюдали самый низкий расход алмазов: при испытательных нагрузках метастабильный аустенит распадался с образованием мартенсита, и чем больше было изменение $\Delta\gamma$, тем тверже была связка, были выше производительность и ниже расход алмазов. Данные производственных испытаний коррелируют с коэффициентом шлифования из табл. 1. Из анализа зависимости удельного расхода от прочности камня (рис. 9) установлено, что наибольший расход алмазов наблюдался на составе с 6 % Ni при шлифовке самого прочного камня «Цветок Украины». Самым универсальным инструментом можно считать инструмент с содержанием Ni 12 %, этот инструмент одинаково экономично работал как по мягким, так и по твердым породам. Опытная партия инструмента прошла промышленные испытания. Удельный расход алмазов был меньше заданного ГОСТ 16115–85 в 2,3 раза (табл. 3). При сравнительных производственных испытаниях инструмента, обладающего твердостью связки 82 HRB, ударной вязкостью 30 кДж/м², установлены существенно лучшие показатели, по сравнению с аналогами на других металлических связках (табл. 4).

Таблица 2

Свойства пород, по которым проводили шлифовку

Камень	Плотность, г/см ³	Пористость, %	Истираемость, г/см ²	σ_b при сжатии, МПа
«Мансуровски»	2,75	1,19	0,77	127,1
«Габбро»	3,28		0,05	313
«Джилль-гау»	2,69		0,35	870
«Цветок Украины»	2,71	0,6–3,1	0,3	1255

Производственные испытания алмазного инструмента при резке мраморов типа Коелгинского показали удельный расход алмазов 0,05 карат/м², что в три раза меньше существующей нормы (норматив удельного расхода алмазов при резке этой же породы мрамора: природных – 0,07 карат/ м², син-

тетических – 0,15 карат/м²). Кроме того, алмазный инструмент с разработанной связкой может быть применен для резки и шлифовки горных пород различной твердости (от мраморов до гранитов), поскольку режущие свойства оказались связаны с объемом фазовых превращений, зависящих от нагрузки.

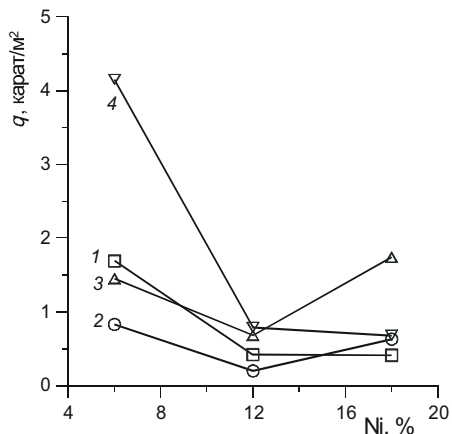


Рис. 8. Зависимость удельного расхода алмазов от содержания Ni в связке: 1 – «Мансуровски»; 2 – «Габбро»; 3 – «Джиль-тау»; 4 – «Цветок Украины»

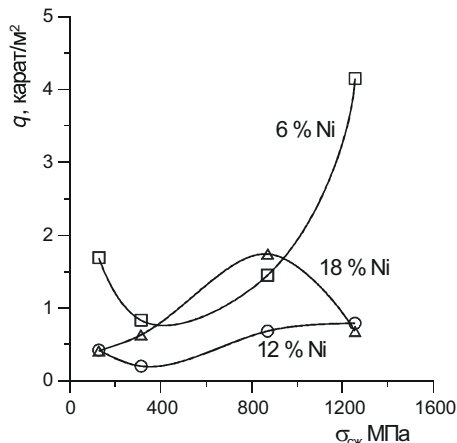


Рис. 9. Зависимость удельного расхода алмазов от предела прочности камня

Таблица 3

Расход алмазов в алмазном инструменте при производственных испытаниях

Порода мрамора	Площадь реза, м ²	Норматив удельного расхода алмазов, карат/м ²	Расход алмазов, карат	
			нормативный	фактический
«Коелга»	19,06	0,15	72,18	31,55
«Уфалей»	78,68	0,3		
«Буравщина»	0,5	0,5		
«Сюськюенсаари»	6,98	1,3		
«Габбро-диабаз»	3,68	1,4		

Таблица 4

Сравнительная характеристика удельного расхода алмазов в сегментах при резке мрамора месторождения Шабры (Свердловская область)

Показатель	НЦ ПМ, г. Пермь	«Кемит-ЛТД», г. Кемерово	«СИАЛ», г. Нс восибирск
Основа связки	Железо	Медь	Медь
Марка алмазов	АС 160	АС 160	А 5 (природный)
Удельный расход алмазов, карат/м ²	0,05	0,06	0,11

Таким образом, экспериментально установлено, что в сталях, содержащих 6–18 % Ni, устойчивость аустенита, объем превращения метастабильного аустенита в мартенсит деформации, уровень физико-механических и триботехнических свойств зависели от степени гомогенности твердых растворов. Разработан алмазный инструмент нового класса на основе дисперсных метастабильных связок. Установлена прямая зависимость прочности и эксплуатационных свойств от объема фазового превращения и обратная зависимость удельного расхода алмазов от объема фазового превращения.

Список литературы

1. Сычев Ю.И., Берлин Ю.Я. Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню: учебник для средних проф.-тех. училищ. – М.: Стройиздат, 1985. – 312 с.
2. Верещагин В.А., Журавлев В.В. Композиционные алмазосодержащие материалы и покрытия. – Минск: Наука и техника, 1991. – 208 с.
3. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
4. Захаренко И.П. Алмазные инструменты и процессы обработки. – Киев: Техніка, 1980. – 215 с.
5. Филиппов М.А., Литвинов В.С., Немировский Ю.Р. Стали с метастабильным аустенитом. – М.: Металлургия, 1988. – 256 с.
6. Попов В.С., Брыков В.С., Дмитриченко Н.С. Износостойкость прессформ огнеупорного производства. – М.: Металлургия, 1971. – 160 с.
7. Анциферов В.Н., Оглезнева С.А., Гревнов Л.М. Фазовые превращения в стальной матрице алмазного инструмента // МиТОМ. – 2009. – № 10. – С. 39–42.
8. Оглезнева С.А. Экспресс-метод определения удельного расхода алмазов в лабораторных условиях // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 2000. – № 5. – С. 65–67.

Получено 1.07.2010