

ТЕХНОЛОГИИ ДИСПЕРСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ

П. В. Аликин, А. А. Ганеев, П. Н. Никифоров, С. П. Павлинич
Уфимский государственный авиационный университет,
г. Уфа, Россия

В газотурбинных двигателях большое распространение получили детали из труднодеформируемых сплавов. Поэтому современное развитие кузнечно-штамповочного производства предъявляет повышенные требования к штамповой оснастке, что вызвано широким применением операций штамповки в жестких термомеханических условиях и распространением горячей штамповки труднодеформируемых материалов.

Наиболее целесообразным для данных условий эксплуатации с экономической точки зрения является изготовление штампов точным литьем из никелевых жаропрочных сплавов из-за сравнительно невысокой стоимости материала и снижения трудоемкости изготовления штампов за счет практически полного устранения механической обработки. Однако низкая износостойкость штампов для изотермического деформирования из сплавов типа ЖС6У, составляющая 450...500 поковок на комплект, делает актуальной разработку новых штамповых материалов.

Наиболее перспективны в этой области дисперсно-упрочненные материалы. В этом классе композиционных сплавов повышение термической и структурной стабильности достигается искусственным введением в матрицу весьма дисперсных, и практически с ней не взаимодействующих, до температуры плавления, тугоплавких частиц: карбидов, боридов, нитридов и оксидов. Применение таких материалов позволило совершить резкий скачок в создании новых высокожаропрочных износостойких сплавов. Эти сплавы способны сохранять высокий и стабильный уровень прочностных свойств при температурах, соответствующих 0,95 температуры плавления матрицы, тогда как в стареющих никелевых сплавах уже при температурах 0,75 $T_{пл}$, происходит ускоренная коагуляция и растворение упрочняющей γ' -фазы, и как следствие, быстрая потеря работоспособности сплава.

При разработке и создании дисперсно-упрочненных сплавов, одним из наиболее важных технологических моментов, является равномерное распределение в металличе-

ской матрице тугоплавких дисперсных частиц упрочняющей фазы. Эта весьма сложная задача решается либо методами порошковой металлургии, либо жидкофазным методом (в процессе плавки и литья). Из литературного обзора, по методам введения тугоплавких дисперсных соединений (ТДС) в расплав, следует, что при жидкофазном способе производства сплавов наиболее приемлемым является ввод дисперсного упрочнителя непосредственно в расплав перед заливкой форм одним из следующих методов:

- присадка ТДС на дно тигля в алюминиевой фольге;
- присадка ТДС на чистое зеркало расплава;
- введение ТДС в прессованных «таблетках» на дно тигля.

Данный способ не требует дорогостоящего оборудования и позволяет достигать хороших результатов при минимуме затрат.

В рамках проведения совместных научно-исследовательских работ ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение» и ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» отработывалась технология получения дисперсно-упрочненного штампового сплава путем введения в никелевый жаропрочный сплав ЖС6У дисперсных частиц Si_3N_4 .

В связи с малым удельным весом нитрида кремния, варианты введения ТДС путём присадки на дно тигля в пакетах из алюминиевой фольги и присадки на чистое зеркало расплава были признаны неприемлемыми, поскольку в этом случае большая часть порошка ТДС сразу бы всплывала, связывалась оксидной плёнкой и налипала на стенки тигля.

В связи с этим был принят метод ввода ТДС в виде предварительно спрессованных «таблеток» нитрида кремния на чистое зеркало расплава, за 1...2 минуты до разливки металла в формы.

«Таблетки» дисперсного упрочнителя готовились по следующей технологии: навески дисперсного упрочнителя и пластификатора тщательно смешивались в пропорции 40 %

Si_3N_4 , 10 % пластификатора (модельная масса ЗГВ-101) и 50 % порошка сплава ЖС6У (размер гранул до 0,3 мм) для увеличения удельного веса таблеток. Получаемые таблетки спрессовывались под усилием 2,5 т и выдерживались в сушильном шкафу при температуре 300 °С в течении 2 ч.

Перед заливкой керамических форм расплав подстуживался до температуры 1480 °С, после чего вводились «таблетки» ТДС. За счет увеличения мощности на индук-

торе достигалось активное перемешивание расплава. Сплав доводился до температуры заливки форм и разливался.

В результате исследования твердости и износостойкости образцов из сплава ЖС6У с содержанием ТДС нитрида кремния до 1 % при температуре 950 °С было установлено, что наилучшими свойствами обладает сплав ЖС6У + 0,1 % Si_3N_4 . При увеличении количества ТДС в сплаве сверх этого значения твердость и износостойкость падают.

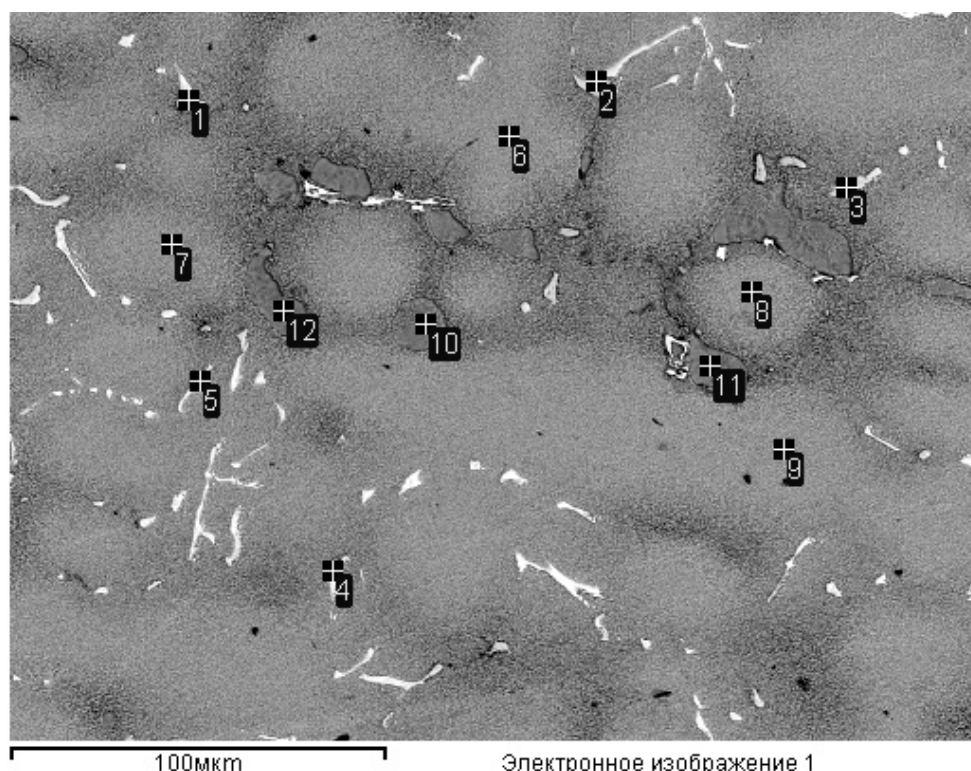


Рисунок 1 – Место проведения хим. анализа по точкам, объект № 1 (ЖС6У + 0,1 % Si_3N_4)

Таблица 1 – Химический состав характерных зон, объект № 1

Спектр	Основа	Легирующий элемент							
	Ni	Cr	C	Co	Nb	W	Ti	Si	N
1	3.01	1.54	14.14	0.51	16.76	37.43	25.51	0.00	0.00
2	20.91	4.91	13.78	4.19	11.71	27.71	16.01	0.00	0.00
3	6.09	2.66	14.38	1.10	18.95	31.23	24.27	0.00	0.00
4	33.30	8.70	10.06	6.87	6.49	23.54	10.32	0.00	0.00
5	59.14	11.63	2.74	11.35	0.50	11.84	2.30	0.00	0.00
6	61.50	10.61	1.75	12.11	0.18	12.02	1.46	0.00	0.00
7	61.57	10.62	1.65	11.67	0.00	12.58	1.56	0.00	0.00
8	59.52	11.04	2.37	11.87	0.00	13.08	1.67	0.00	0.00
9	62.18	9.91	1.92	11.80	0.00	12.36	1.48	0.00	0.00
10	8.01	0.80	0.15	1.03	0.10	0.46	0.54	40.01	48.54
11	9.02	0.96	0.29	1.15	0.14	0.54	0.59	42.3	44.6
12	15.3	0.83	0.50	1.71	0.31	0.61	1.22	38.5	40.8

ТЕХНОЛОГИИ ДИСПЕРСНОГО УПРОЧНЕНИЯ ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ

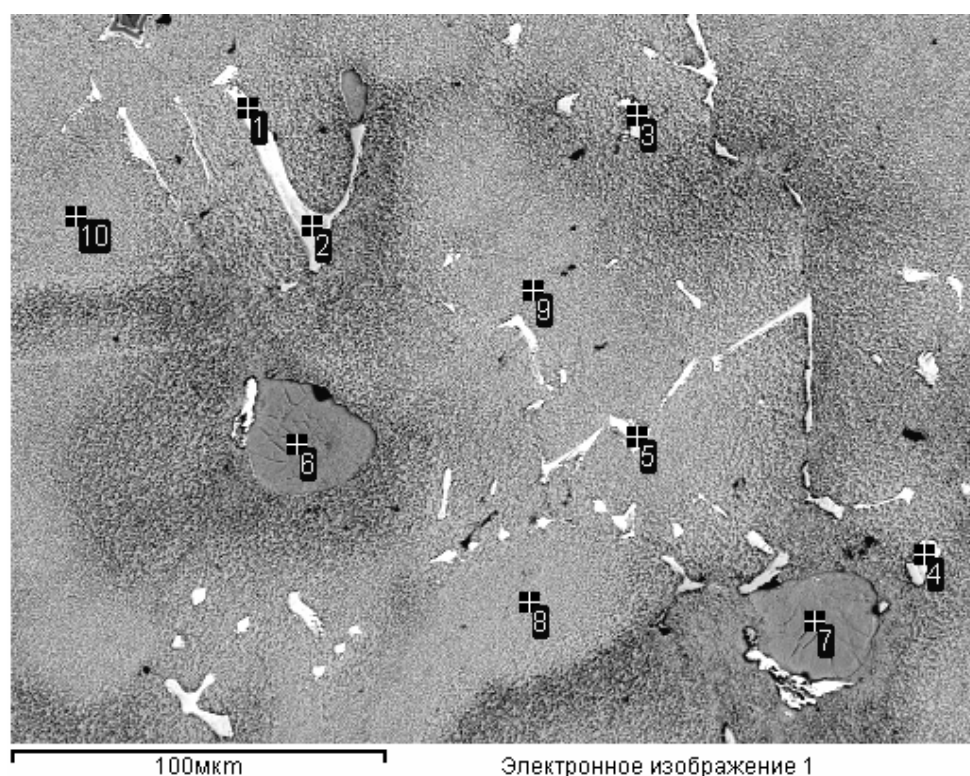


Рисунок 2 – Место проведения хим. анализа по точкам, объект № 2 (ЖС6У + 1,0 % Si₃N₄)

Таблица 2 – Химический состав характерных зон, объект № 2

Спектр	Основа	Легирующий элемент							
	Ni	Cr	C	Co	Nb	W	Ti	Si	N
1	9.29	2.73	11.21	1.59	12.44	39.45	22.22	0.00	0.00
2	1.90	0.71	14.22	0.26	23.60	29.17	28.82	0.00	0.00
3	3.03	1.35	12.95	0.52	16.70	37.72	26.83	0.00	0.00
4	2.30	0.80	13.87	0.36	20.29	32.69	28.66	0.00	0.00
5	3.36	1.43	12.23	0.50	12.78	41.49	27.31	0.00	0.00
6	12.40	0.71	0.47	1.34	0.19	0.51	0.87	39.5	43.8
7	6.44	0.39	0.25	0.71	0.09	0.31	0.43	41.5	49.7
8	58.09	10.85	5.50	12.16	0.00	11.34	1.39	0.21	0.00
9	54.74	10.70	10.41	11.80	0.24	10.18	1.47	0.00	0.00
10	57.93	10.70	6.82	11.82	0.00	10.84	1.42	0.17	0.00

Для выявления причины обнаруженного падения свойств были выполнены исследования образцов штампового материала методом энерго-дисперсионного анализа на электронном сканирующем микроскопе JSM-6490LV, рентгеновском детекторе INCA x-act model 51-ADD0009 и рентгеновском дифрактометре ДРОН-7. Исследовались 2 образца:

1) образец, полученный литьем из материала ЖС6У + 0,1 % Si₃N₄;

2) образец, полученный литьем из материала ЖС6У + 1,0 % Si₃N₄.

Микроструктуры исследованных образцов, точки и результаты замера состава фаз приведены соответственно на рисунке 1, в таблице 1 и на рисунке 2, в таблице 2.

На шлифе образца № 1 проведенный химический анализ выявил наличие кремния и азота в точках 10, 11, 12. При помощи рентгеновского дифрактометра ДРОН-7 было установлено, что эти точки соответствуют местам расположения дисперсных частиц Si_3N_4 в матрице сплава. В других областях шлифа повышения содержания кремния и азота выявлено не было.

На поверхности объекта № 2 проведенный химический анализ выявил наличие кремния в точках 6, 7, 8, 10 и азота в точках 6, 7. При помощи рентгеновского дифрактометра ДРОН-7 было установлено, что точки 6 и 7 соответствуют местам расположения дисперсных частиц Si_3N_4 в матрице сплава. Точки 8 и 10 соответствуют γ -твёрдому раствору, т. е. можно сделать вывод о том, что при большом количестве вводимых частиц Si_3N_4 происходит их частичное растворение и переход кремния в матрицу сплава, что приводит к снижению жаропрочности.

С учётом выполненных исследований сделан вывод о том, что разупрочнение дисперсноупрочненного сплава ЖС6У + Si_3N_4 при увеличении массовой доли ТДС нитрида кремния свыше 0,1 % вызвано частичным растворением ТДС в расплаве, сопровождающимся переходом кремния в γ -твёрдый раствор и снижением его жаропрочности.

С учётом полученных рекомендаций по содержанию ТДС был приготовлен опытный дисперсно-упрочнённый сплав, из которого были отлиты и переданы на апробацию в кузнечно-штамповочный цех ОАО «УМПО» 3 комплекта штампов. Исследование образцов из опытного сплава позволило установить, что введение в расплав нитрида кремния по предлагаемой технологии позволяет в 1,5...2,2 раза повысить износостойкость и твёрдость штампов при температуре 950 °С.