

УДК 669.019

Исследование дефекта «белое пятно» в слитках ВДП жаропрочного сплава ВЖ718 полученного методом триплекс - процесса

Лазаренко Никита Константинович¹

laznikc@gmail.com

Смирнов Максим Олегович²

Корзун Евгений Леонидович¹

¹ ДонНТУ, Донецк, Россия

² АО «СМК», Ступино, Россия

Аннотация. В данной работе представлено краткое описание технологии получения железо-никелевого жаропрочного сплава ВЖ718 по методу триплекс-процесса.. Сплав используется при изготовлении деталей газотурбинного авиадвигателя ПД-8, производство его является как никогда актуальной задачей на сегодняшний день. В ходе производства первых опытных партий сплава в готовых прутках были выявлены дефекты типа «белое пятно». Целью работы являлось изучение механизма образования дефекта и установление факторов влияния на его образование. Предложено технологическое решение в видековки расходуемого электрода для стабилизации переплава сплава ВЖ718 и, как следствие, снижения количества дефектов «белое пятно».

Ключевые слова: жаропрочный железоникелевый сплав, белое пятно, вакуумно-дуговой переплав, ковка электрода, неразрушающие методы контроля

Study of the white spot defect in VAR ingots of super - alloy VZ718 obtained by the triplex melting process

Lazarenko Nikita Konstantinovich¹

laznikc@gmail.com

Smirnov Maksim Olegovich²

Korzun Evgeny Leonidovich¹

¹ DonNTU, Donetsk, Russia

² JSC SMK, Stupino, Russia

Abstract. This paper presents a brief description of the technology for producing super-alloy VZ718 using the triplex melting process. The alloy is used in the manufacture of parts for the PD-8 gas turbine aircraft engine, and its production is an increasingly urgent task today. During the production of the alloy, defects of the “white spot” type were detected in finished forgings. The purpose of the work was to study the mechanism of defect formation and to establish the factors influencing its formation. A technological solution is proposed in the form of forging a consumable electrode to stabilize the remelting of the VZ718 alloy and, as a result, reduce the number of “white spot” defects.

Keywords: heat-resistant iron-nickel alloy, white spot, vacuum arc remelting, electrode forging, non-destructive testing methods

Введение. Как известно, стремительное развитие самолетостроения в первой половине XX века, побудило металлургов к созданию и развитию деформируемых жаропрочных суперсплавов на никелевой и железоникелевой основах, которые способны работать при высокой температуре в нагруженном состоянии. Рассматриваемый в настоящей работе сплав марки ВЖ718 применяется в турбинах низкого и высокого давления современного авиационного двигателя ПД-8 и отличается высокой жаропрочностью. В настоящее время проводятся работы по созданию российского самолета SJ-100, оснащенного данным двигателем, поэтому актуальность работы не вызывает сомнений. Наиболее близкий аналог сплава ВЖ718 является зарубежный сплав Inconel 718 — один из самых изучаемых сплавов в зарубежных и российских публикациях (см. таблицу).

Химический состав сплава Inconel 718

Inconel 718	C	Cr	Mo	Al	Ti	Nb	Fe	S	P
	0,012–0,036	17,00–19,00	2,80–3,15	0,35–0,65	0,75–1,15	5,20–5,55	16,00–19,00	≤0,0010	≤0,015

При производстве сплава ВЖ718 на АО «СМК» в ходе проверки качества методом УЗК на первых опытных партиях были обнаружены недопустимые индикации на готовых прутках, что ведет к отбраковке определенного количества металла. В ходе изучения дефектной зоны было установлено, что дефекты представляют собой «белые пятна» — характерный дефект для сплавов с ниобием в составе [1, 2]. Целью данной работы является изучение механизма образования «белых пятен» и разработка мероприятий для снижения вероятности формирования данного вида дефекта.

Материалы и методы. Сплав ВЖ718 производят на АО «СМК» методом триплекс-процесса по стандартной схеме [3, 4]: расходный электрод диаметром 410 мм получают в вакуумной индукционной печи (ВИП), после чего переплавляют на электрошлаковой печи (ЭШП) в кристаллизаторе 480 мм. Далее следует заключительный переплав слитка в вакуумной дуговой печи (ВДП) в кристаллизаторе 520 мм. Полученный слиток подвергали ковке в прутки диаметром 220 мм.

При данной схеме производства наблюдались отклонения в режиме ЭШП и ВДП, а именно колебания массовой скорости плавки (кг/мин). При ЭШП данные колебания носили хаотичный характер и составляли 17–20 % от установленной скорости. В ходе проведения продольного реза слитка ЭШП с отклонениями по массовой скорости были выявлены несплошности, видимые невооруженным глазом, что может негативно сказываться и на последующем ВДП.

При ВДП колебания отличались периодическим характером: пики массовой скорости чередовались каждые 2–3 часа плавки при общем времени плавки 12 часов, отклонения массовой скорости составляло 34–40 % от установленного значения. При этом воздействие на режим изменением тока или длины дуги (напряжение) давало положительный эффект в виде снижения

процента отклонений с 34–40 % до 25–30 %, однако на наличие «белых пятен» в итоге не повлияло.

При контроле прутков проводили оценку поперечных макротемплетов на наличие дефектов, где и были выявлены «белые пятна» (рис. 2).

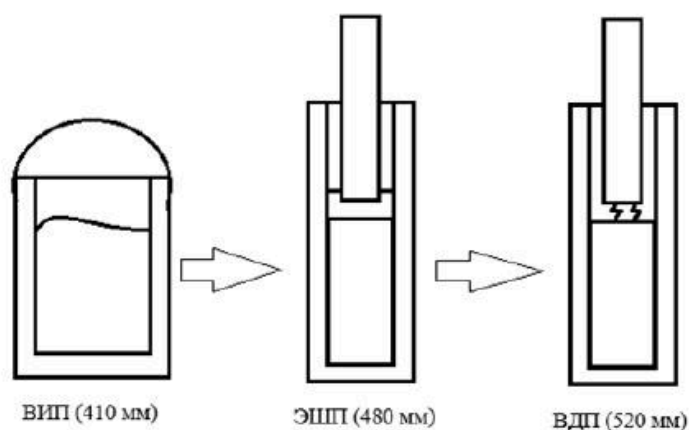


Рис. 1. Стандартная схема производства сплава ВЖ718

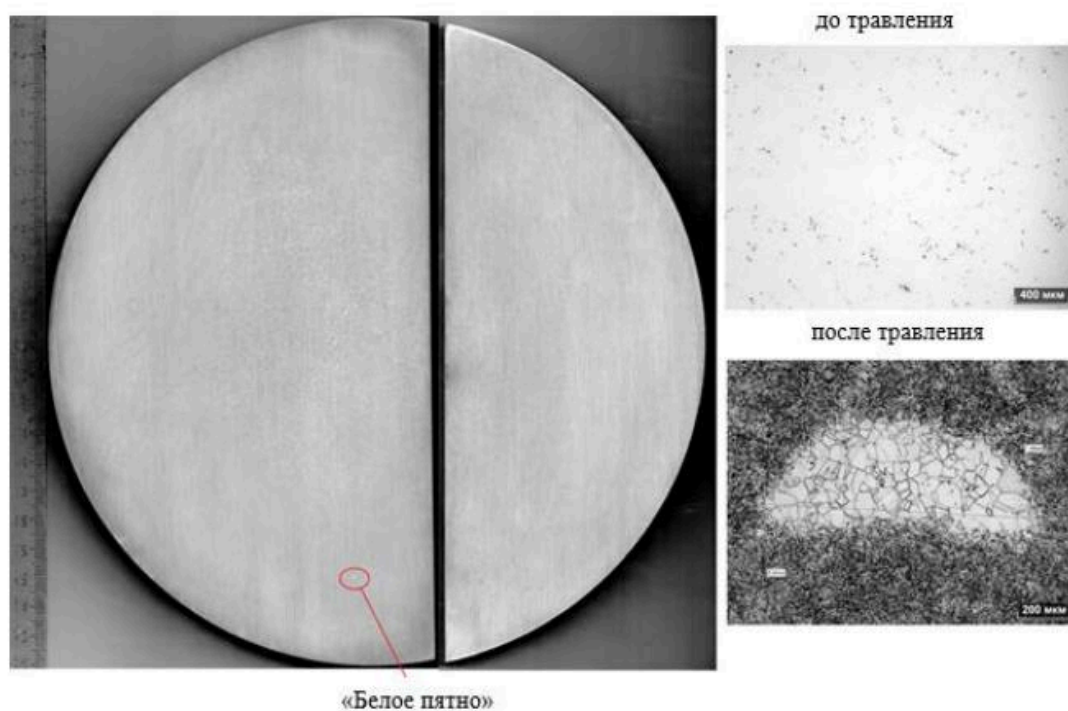


Рис. 2. Макроструктура кованого прутка с наличием дефекта «белое пятно»

Основной причиной появления дефекта в прутках является подрезка дугой дендритных кристаллов из микро-усадочных раковин при ВДП [5]. Размеры дефектов составляют 0,45–2,5 мм, что недопустимо по требованиям нормативной документации: макроструктура прутков не должна содержать расслоений, внутренних трещин, пустот, скоплений грубых пор (диаметром более 1 мм) и инородных включений.

Для определения химического состава провели локальный микрорентгеноспектральный анализ (ЛМРСА) зоны дефекта, где выявили отклонение содержания ниобия (понижено до 1,5–3,0 % в сравнении с 5,0 % в основном металле). Также при исследовании выявили, что границы «белых пятен» в ряде случаев сопровождаются расслоениями протяженностью 2,0–3,0 мм, что указывает на наличие значительных напряжений на границе раздела пятна и основного металла способных привести к возникновению трещин в металле кованого прутка. Скопление включений серо-розового цвета (соединения Al, Mg, Ti, Cr, Fe) явились дополнительным концентратором напряжений при деформации и привели к расслоениям.

Результаты. Для снижения вероятности образования дефекта «белое пятно» был предложен способ «уплотнения» расходуемого электрода ВИП — введение операцииковки электрода. Для этого был получен конический электрод в ВИП с нижним диаметром 410 мм и верхним 510 мм. Электрод подвергали ковке до диаметра 375 мм и после обточки поверхности до 360 мм электрод переплавляли по стандартной схеме (рис. 3).

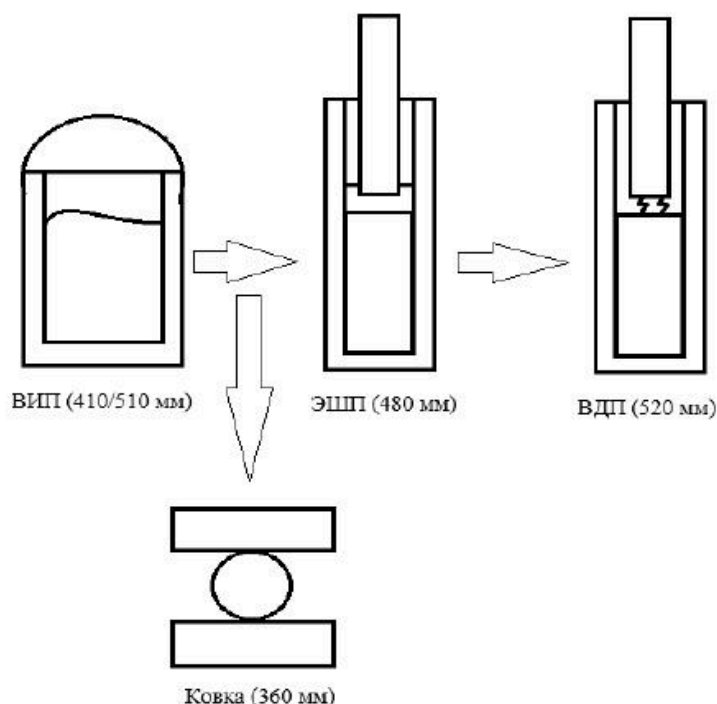


Рис. 3. Измененная схема производства сплава ВЖ718

При этом удалось снизить колебания массовой скорости переплава ЭШП до 5–8 % от установленной скорости, а ВДП до 4–5 %, что является существенным показателем. Количество индикаций при УЗК снизилось в среднем с 8,10 единиц на пруток до 5,22 единиц на пруток, что составляет 36 % [6].

Обсуждение полученных результатов. Механизм образования «белых пятен» связан со стабильностью режима переплава ВДП. Однозначно можно сделать вывод, что переплав некачественного расходуемого электрода

с внутренними дефектами приводит к нестационарному режиму переплава и получению «белых пятен» в слитках. Некоторые исследователи [5] рассматривают колебания в массовой скорости переплава как следствие V-образных дефектов (усадочных раковин) внутри расходуемого электрода. Как показал опыт АО «СМК», слиток ЭШП может содержать макро-усадочные поры и пустоты. Стабилизировать процесс при этом необходимо уплотнением расходуемого электрода или слитка ЭШП. Иные исследователи считают причиной колебаний перемещение дуги в зоны с различным давлением металлического пара [7]. Стабилизировать процесс в данном случае необходимо изменением межэлектродного промежутка — длины дуги.

Авторами данной работы установлено, что воздействие на режим переплава данными методами не дает полного исключения образования «белых пятен», однако может существенно уменьшить их количество. Это говорит о возможном наличии других факторов влияния для сплава ВЖ718, которые будут изучаться в дальнейшей работе.

Заключение. Дефект «белое пятно» в слитках жаропрочного сплава ВЖ718 образуется при попадании в ванну жидкого металла при ВДП отдельных твердых частиц исходного электрода. Наличие «белых пятен» может приводить к расслоениям в готовых прутках и отбраковке. Изменение режимов ЭШП и ВДП не дают возможности снижения «белых пятен», а только несущественно стабилизируют массовую скорость. При получении расходуемого электрода ВЖ718 в ВИП с наличием усадочных раковин получают нестабильный режим переплава ЭШП и наследование макро-усадочных полостей в теле слитка ЭШП. При этом данный факт сказывается на режиме ВДП, приводит к выкрашиванию частиц металла и получению «белых пятен» в слитке ВДП. Наличие операцииковки электродов перед ЭШП существенно повышает стабильности переплава ЭШП и ВДП при аналогичных режимах переплава, что в дальнейшем приводит к снижению дефектов, обнаруживаемых при УЗК.

Список источников

- [1] Jackman L.A., Maurer G.E., Widge S. White spots in superalloys. The Minerals, Metals and Materials Society, 1994, pp. 153–166. https://doi.org/10.7449/1994/SUPERALLOYS_1994_153_166
- [2] Donachie M.J., Donachie S.J. Superalloys: a technical guide. ASM International. Materials Park, 2002, 439 p.
- [3] Saied A. Aspects of Precipitation in the Alloy Inconel 718. Doctoral Thesis, 2004, 20 p.
- [4] Moyer J.M., Jackman L.A., Adaszczik C.B., Davis R.M., Forbes Jones R. Advances in triple melting superalloys 718, 706, and 720. The Minerals, Metals & Materials Society, 1994, pp. 39–48. https://doi.org/10.7449/1994/Superalloys_1994_39_48
- [5] Швед Ф.И. *Слиток вакуумного дугового переплава*. Челябинск, ООО «Издательство Татьяны Лурье», 2009, 428 с.
- [6] Карягин Д.А., Малютин С.В., Смирнов М.О. Пути улучшения качества кованных прутков из слитков сплава ВЖ718, изготовленных по схеме триплекс-процесса. *Технология легких сплавов*, 2024, № 4, с. 55–65.
- [7] Белянчиков Л.Н. К вопросу стабилизации процесса ВДП стали и сплавов. *Электromеталлургия*, 2011, № 8, с. 18–23.