

толщине раската.

Литература

1. Теория прокатки: Справочник / Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И. и др. – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.
2. Алдунин А.В., Шумеев А.В. Исследование распределения пластической деформации по толщине стальных полос // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. № 4 (22). Т. 2. С. 5 – 9.
3. Алдунин А.В., Русаков А.Д., Трайно А.И. Исследование и разработка технологий производства стальных полос. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 170 с.
4. Бондарь В.С., Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф. Изгиб и скручивание листа / М.: Университет машиностроения, 2014. 212 с.
5. Типалин С.А. Определение накопленной деформации в процессе выдавливания технологической канавки / Заготовительные производства в машиностроении. 2013. №8, с. 22-24.
6. Типалин С.А. Исследование и разработка методики расчета процесса профилирования ленты при локальном формоизменении / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МАМИ, 1998, 181с.
7. Типалин С.А. Экспериментальное исследование процесса выдавливания технологической канавки в оцинкованной полосе / Известия МГТУ «МАМИ». 2012. №2. Том 2. С. 208-213.

Выбор режима горячей штамповки хромоникелевой стали для лопаток паровых турбин

к.т.н. доц. Балькова Т.И.

Университет машиностроения

8-925-431-85-54, e-mail: kafmaterialy@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований влияния температуры и скорости деформации на прочностные характеристики и структуру стали типа 17-4 PH. Разработаны рекомендации по режиму горячей штамповки лопаток паровых турбин из указанной стали и ее отечественных аналогов.

Ключевые слова: истинные напряжения, истинные деформации, структура, горячая штамповка, лопатки паровых турбин

Введение

Турбинные лопатки являются деталью паровых турбин, имеющей наименьший ресурс работы, так как подвергаются эрозионному износу, воздействию высокой температуры, коррозионной среды, динамическим и вибрационным нагрузкам. На турбостроительных заводах России не прекращается поиск новых сплавов для изготовления лопаток паровых турбин. Одним из таких сплавов является сталь марки 17-4 PH, отечественным аналогом которой является дисперсионно твердеющая сталь 07X16H4Д4Б.

Целью работы являлось определение метода и технологических параметров изготовления лопаток паровых турбин из стали 17-4PH, обеспечивающих наилучшие прочностные характеристики.

Проведенный анализ способов изготовления турбинных лопаток позволил сделать вывод о преимуществах их получения методом точной горячей штамповки. Именно этим методом предполагается изготавливать лопатки из стали марки 17-4 PH. При правильном выборе режима – температуры и скорости деформирования, можно добиться наилучших прочностных характеристик.

Образцы и методика проведения эксперимента

Сталь 17-4PH поставляется в виде прутков диаметром 130 мм после термической обработки по штатному режиму (закалка от 1040 и 850°C с отпуском при 545°C в течение 4 ча-

сов).

Для проведения исследования из прутков стали были изготовлены образцы диаметром 5 мм и высотой 10 мм. Они были подвержены испытанию в высокотемпературном высокоскоростном закалочном-деформационном дилатометре *DIL 805* путём сжатия вдоль оси до величины $\varepsilon = 0,3$ в интервале температур 800 - 1200 °С и скоростей деформирования 10^{-3} - 10c^{-1} с записью диаграмм $\sigma(\varepsilon)$ в координатах истинные напряжения – истинные деформации.

Для структурных исследований деформированные образцы разрезали на прецизионном отрезном станке S260-70A. Изготовление шлифов проводили на шлифовально-полировальной установке Saphir 350, затем проводили электролитическое травление в водном растворе щавелевой кислоты (10 г на 100 мл воды). Шлиф помещается на аноде, катодом служит пластинка из нержавеющей стали.

Результаты эксперимента

По результатам сжатия 25 образцов с 5 различными скоростями деформации при 5 различных температурах были получены диаграммы в координатах «истинные напряжения – истинные деформации» (рисунок 1).

На полученных диаграммах $\sigma(\varepsilon)$ были произведены измерения значений максимальных истинных напряжений $\sigma_{\text{макс}}$ (МПа) и занесены в таблицу с учётом разных скоростей деформации $\dot{\varepsilon}$ и вариации температур (таблица 2).

Таким образом, было установлено, что деформирование при высоких температурах с низкими скоростями позволяет получить низкий уровень напряжений $\sigma_{\text{макс}}$. Это объясняется тем, что при повышении температуры ускоряются процессы диффузии и облегчается движение дислокаций, но для протекания этих процессов требуется время. Поэтому при повышении скорости деформирования напряжения $\sigma_{\text{макс}}$ возрастают.

В зависимостях $\sigma(\varepsilon)$ зафиксированы особенности. Одной из них, имеющих важное практическое значение, является режим горячего сжатия при наименьших и постоянных эффективных напряжениях без проявления фактора упрочнения. Такие условия деформирования создаются, когда материал находится в состоянии, близком к сверхпластическому. Как показывают диаграммы $\sigma(\varepsilon)$, в стали 17-4 РН режим проявления эффекта сверхпластичности наиболее вероятен при $T = 1200^\circ\text{C}$ и $\dot{\varepsilon} = 10^{-3} \text{c}^{-1}$.

Экстремумы, присутствующие на графиках для стали 17-4 РН при температурах 800 и 900°С, указывают на достижение состояния динамического равновесия процессов упрочнения и разупрочнения и могут быть использованы в качестве отправной точки для последующего управления процессами структурообразования в условиях горячей и теплой деформации.

В зависимостях $\sigma(\varepsilon)$ еще одна особенность проявляется также в форме автоколебаний напряжений, которые по ходу пластической деформации со скоростью $\dot{\varepsilon} \sim 1 \text{c}^{-1}$ возникают в структурно-механическом состоянии образцов стали 17-4 РН при всех температурах. Этот вид колебаний обусловлен коллективным взаимодействием деформационных дефектов мезоскопического масштабного уровня: дислокаций и дисклинаций. Факт наличия колебательного процесса свидетельствует о динамическом равновесии в системе подвижных и взаимодействующих ансамблей дефектов кристаллического строения (дислокаций и дисклинаций), которое в исследуемых материалах реализуется на фоне статического упрочнения за счет остатков и постепенного накопления структурных несовершенств деформационной природы. Относительно небольшая амплитуда колебаний напряжений позволяет полагать, что часть подвижных деформационных дефектов участвует в образовании временных диссипативных структур неравновесного состояния, за счет которых осуществляются аккомодационные подстройки взаимодействующих ансамблей и объектов мезоструктуры. Другая часть мезодефектов, которые утрачивают подвижность и останавливаются, создает эффект упрочнения. Как показали систематические исследования процессов структурообразования в условиях горячей пластической деформации, режим колебательных структурных изменений может

быть выбран в качестве первого приближения на пути создания оптимальной технологии обработки.

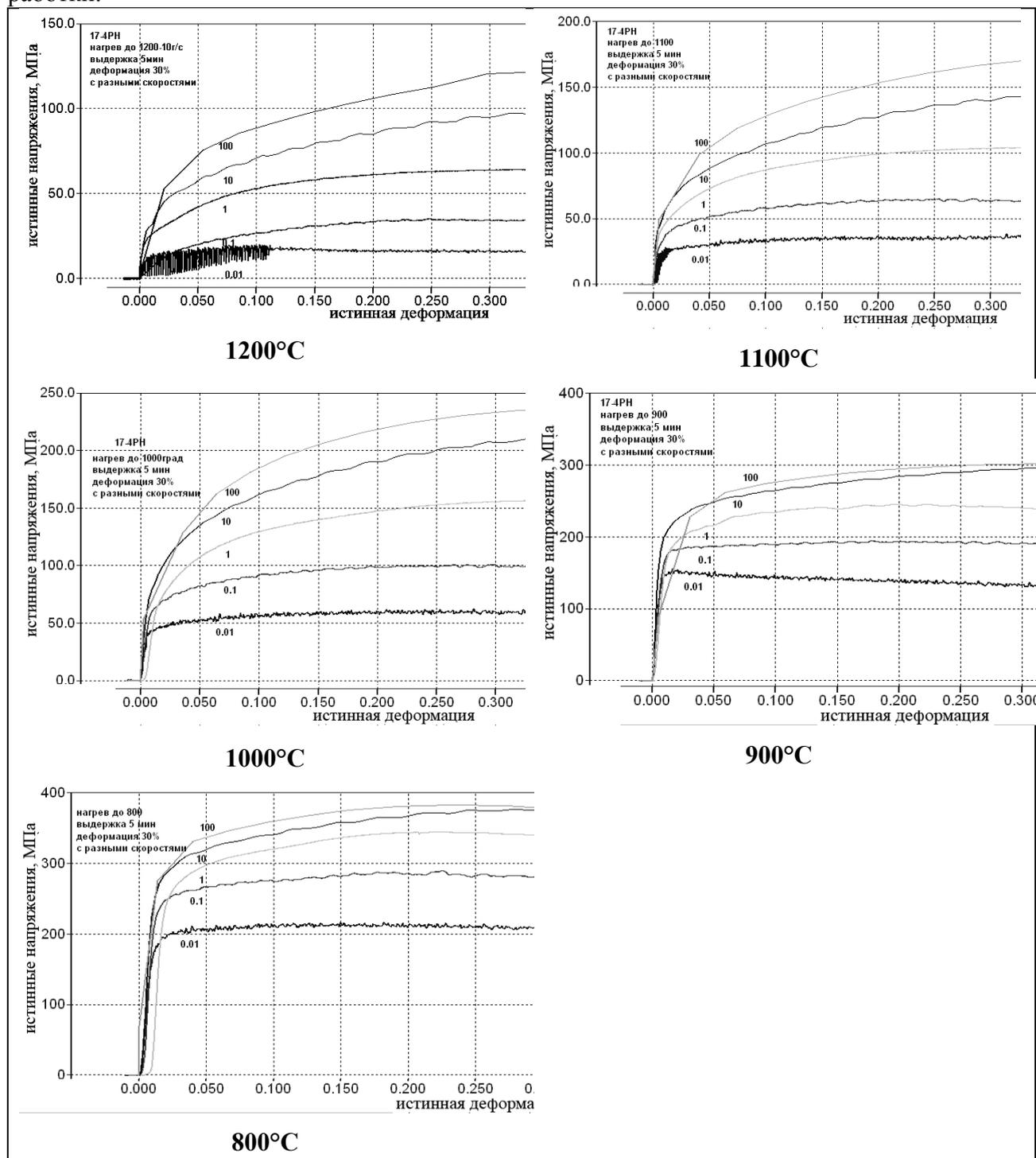


Рисунок 1. Диаграммы сжатия образцов стали в координатах «истинные напряжения σ – истинные деформации ϵ »

После пластометрических испытаний были проведены исследования структуры всех деформированных образцов на оптическом микроскопе. В качестве примера рассмотрим фотографии микроструктуры, полученные после испытаний при температуре 800 и 1200 °C (рисунок 2). При сравнении фотографий микроструктуры образцов видно, что чем выше скорость деформации, тем зёрна получаются мельче. Это объясняется тем, что при больших скоростях деформации зёрна не успевают вырасти до того размера, который мы видим при низких скоростях деформации. Также видно, что у образцов деформированных при темпера-

туре 1200°С зёрна больше, чем у образцов деформированных при 800°С. Это объясняется тем, что при более высоких температурах рост зерна происходит быстрее. Чётко прослеживается зависимость между напряжениями $\sigma_{\text{макс}}$ и размером зерен при разных температурах и скоростях деформации. Чем мельче зерно, тем прочность выше, а значит выше уровень напряжений $\sigma_{\text{макс}}$.

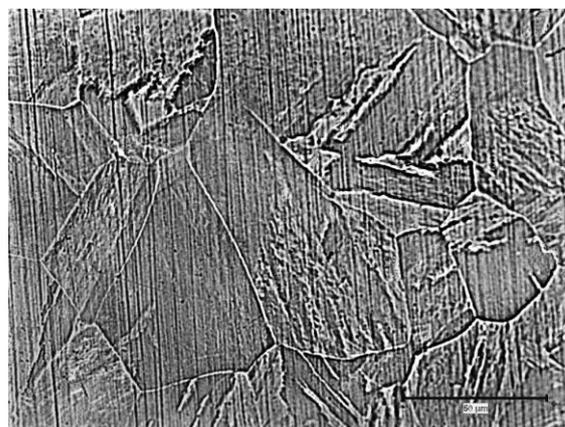
Таблица 2

Значения максимальных истинных напряжений $\sigma_{\text{макс}}$ (МПа), достижимых на уровне истинных деформаций $\varepsilon = 0,3$

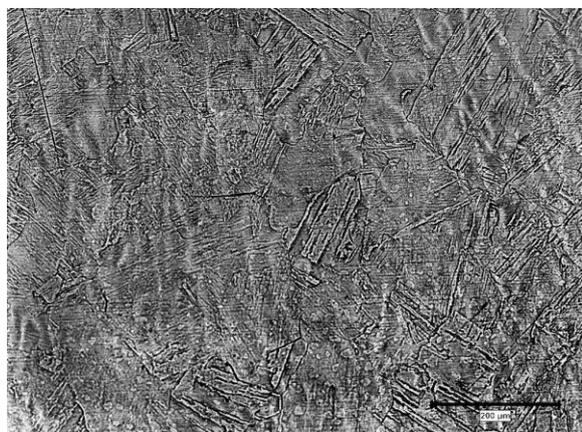
Скорость деформации $\dot{\varepsilon}$, с^{-1}	Значения напряжений $\sigma_{\text{макс}}$ (МПа) стали 17-4PH при температуре, °С				
	800	900	1000	1100	1200
10^1	380	300	230	160	120
$1 = 100$	380	295	205	140	95
10^{-1}	350	250	155	105	65
10^{-2}	285	195	100	70	40
10^{-3}	205	130	55	35	20



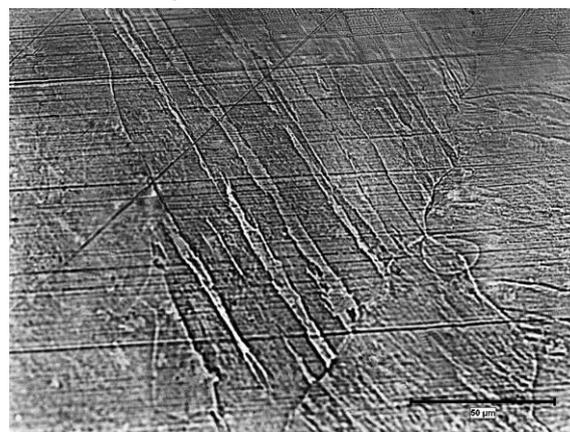
Температура деформации 800°С. Скорость деформации $\dot{\varepsilon}=10^1 \text{ с}^{-1}$, увеличение x 500



Температура деформации 1200°С. Скорость деформации $\dot{\varepsilon}=10^1 \text{ с}^{-1}$, увеличение x 500



Температура деформации 800°С. Скорость деформации $\dot{\varepsilon}=10^{-3} \text{ с}^{-1}$, увеличение x 500



Температура деформации 1200°С. Скорость деформации $\dot{\varepsilon}=10^{-3} \text{ с}^{-1}$, увеличение x 500

Рисунок 2. Образцы, деформированные при температуре 800 и 1200°С

Разработка рекомендаций по выбору режимов горячего прессования

При температуре 1200°C и скорости деформации $\dot{\epsilon}=10^{-3} \text{ с}^{-1}$ наиболее вероятно проявление эффекта сверхпластичности. При этом наблюдается самый низкий уровень напряжений $\sigma_{\text{макс}}$. Применение такого режима позволяет производить прессование заготовки при меньших усилиях, затрачивать меньше энергии, дает возможность использовать менее мощное и более экономичное прессовое оборудование, положительно сказывается на экономике предприятия, что крайне важно в условиях растущих тарифов на электроэнергию.

Также стоит учесть, что после проведения горячей пластической деформации необходимо в кратчайшие сроки производить термическую обработку заготовок с целью повышения прочностных и эксплуатационных показателей.

Выводы

По результатам проведенной работы с использованием метода имитационного моделирования операций горячего сжатия и данным структурных исследований сталей типа 17-4 PH установлено, что с ростом скорости деформации уменьшается размер зерен и повышается прочность стали; повышение температуры пластической деформации приводит к снижению значений истинных напряжений, то есть уменьшению прочности.

Рекомендуется лопатки из стали 17-4 PH, предназначенные для паровых турбин, штамповать при температуре 1200°C со скоростью пластической деформации $\dot{\epsilon}=10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Также рекомендуется произвести исследования влияния термической обработки на свойства заготовок с целью обнаружения наилучшего режима термической обработки.

Литература

1. Левин А.В., Боришанский К.Н., Консон Е.Д. Прочность и вибрация лопаток и дисков паровых турбин. Л.: Машиностроение, 1981г. – 710 с. ил.
2. Трояновский Б.М., Филипов Г.А., Булкин А.Е. Паровые и газовые турбины атомных электростанций. М.: Энергоиздат, 1985г. – 256 с. с ил.
3. Барахтин Б.К., Лебедева Н.В., Маркова Ю.М. Структурно – фазовые переходы в сплаве 04X20H6Г11АМ2БФ в условиях горячего сжатия // Деформация и разрушение материалов, 2012г. №3, с. 20 – 26.
4. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Часть 1. Деформация и разрушение. М.: Машиностроение, 1974г. – 472 с. с ил. Издание 3-е, перераб и дополн. В двух частях.

Методика проведения исследований технологической прочности наплавленных быстрорежущих сталей, применяемых в режущем инструменте

к.т.н. Барчуков Д.А.

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»
8 (4822) 52-62-89, bda@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены существующие методы исследования технологической прочности, дано описание собственной методики исследований технологической прочности наплавленной быстрорежущей стали с указанием на принцип работы экспериментальной установки. Предложен количественный критерий технологической прочности наплавленного металла.

Ключевые слова: быстрорежущая сталь, работоспособность, технологическая прочность, горячие трещины

Работоспособность – это состояние объекта, при котором значения параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Работоспособность