

### **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

быстрорежущих сталей как инструментального материала определяется уровнем их свойств (механических, технологических, эксплуатационных), характеризующих возможность изготовить из них инструмент, соответствующий заданным требованиям.

Повышение работоспособности и технологичности изготовления инструмента при одновременном значительном сокращении расхода быстрорежущих сталей является весьма актуальной проблемой. Решение данной проблемы возможно, в том числе и за счет совершенствования структурного состояния быстрорежущих сталей – достижения двухфазной структуры закаленной стали, измельчения зерна и карбидов, увеличения концентрации углерода и легирующих элементов в твердом растворе, упрочнения мартенсита высокодисперсными карбидами при термической обработке. Данное решение стало возможным благодаря внедрению в технологические процессы изготовления инструмента способа упрочнения наплавленной быстрорежущей стали [1, 2].

Однако изготовление биметаллического наплавленного инструмента может быть сопряжено с технологическими сложностями, прямо влияющими на его работоспособность. Природа этих сложностей объясняется наличием в наплавленном биметаллическом инструменте зоны термического влияния (ЗТВ) и процессов, происходящих в основном и наплавленном металлах при наплавке и после нее.

В ЗТВ происходят существенные изменения структуры и свойств металла, что напрямую влияет на работоспособность составного инструмента с наплавленной режущей частью. ЗТВ является крайне нежелательным, но, к сожалению, неустранимым явлением при наплавке быстрорежущих сталей. Однако на протяженность участков ЗТВ, а также на их свойства, в том числе твердость, можно воздействовать различными способами [3].

Технологическая прочность – способность металла выдерживать без разрушения различного рода воздействия в процессе его технологической обработки.

Способность образовывать швы без горячих трещин, т.е. способность претерпевать без разрушения упруго-пластическую деформацию при высоких температурах в процессе наплавки или сварки, называют технологической прочностью наплавленного металла в процессе кристаллизации. Способ количественной оценки технологической прочности наплавленного металла является по существу методом определения склонности наплавленного металла к образованию при наплавке горячих трещин.

Существует множество методов оценки технологической прочности, значительно различающихся по своей эффективности. По назначению их разделяют на две категории:

1. Методы для оценки сопротивляемости сплавов образованию горячих трещин, безотносительно к типу и размерам свариваемых соединений.
2. Методы для оценки стойкости наплавленного металла к образованию горячих трещин при заданном составе сплава и режимах наплавки.

Классификация известных методов определения технологической прочности сварных соединений приведена в таблице 1 [4].

Большинство известных методов основано на приложении различного рода внешних усилий (растягивающих, изгибающих, крутящих и пр.) на образцы как в процессе наплавки, так и после нее. Результатами испытаний являются как количественные (скорость и величина деформации и т.д.), так и качественные показатели технологической прочности (наличие или отсутствие горячих трещин и пр.). При этом наиболее простая схема собственных напряжений возникает при наплавке валика на пластину. При достаточно малой толщине пластины эти напряжения имеют линейный (одноосный характер), и поэтому их определение сводится к замеру только одного компонента деформаций [5].

Для проведения исследования технологической прочности наплавленных быстрорежущих сталей за основу взята методика [6] по определению напряжений в наплавленном образце при возникновении горячих трещин при температурах, близких к линии солидуса.

При изготовлении экспериментальной установки (рисунок 1) учитывали, что непосред-

ственно в процессе исследований производят наплавку на образцы. В данных условиях значения тепловых и сварочных деформаций невелики и показатель темпа деформации при наплавке не достигает значений, вызывающих образование горячих трещин. Поэтому возникает необходимость приложения внешней растягивающей нагрузки заданной величины в температурном интервале хрупкости наплавленного металла.

Таблица 1

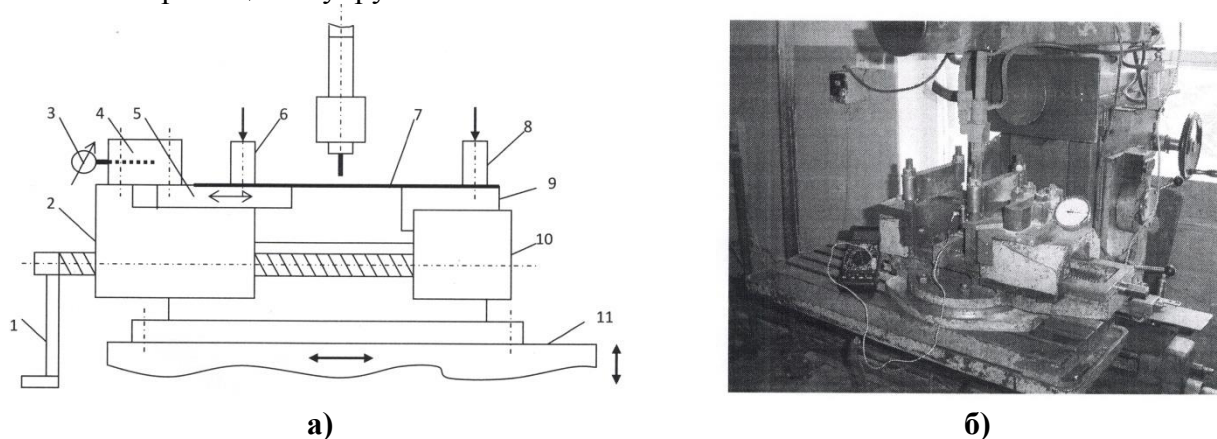
**Методы оценки стойкости против образования горячих трещин в процессе кристаллизации**

№ п/п	Метод	Критерий	Назначение
1	Расчет степени склонности сплава к образованию ГТ по химическому составу	Эквивалент углерода $C_{\text{ЭКВ}}$ , % Количество $\delta$ - Fe % для аустенитных сталей Количество равновесной эвтектики Э, %	Приближенная количественная оценка сплавов
2	Наплавка образцов лабораторных технологических проб	а) Наличие ГТ при наплавке проб б) Частота образования ГТ в) Относительная длина ГТ г) критическая скорость наплавки д) критический размер образца пробы	Качественная (а), полуколичественная (б-г) и количественная (д) оценка сплавов
3	Деформирование наплавленного металла в процессе его кристаллизации при наплавке	Критическая скорость растяжения Критический темп растяжения  Критическая деформация Критическое напряжение	Количественная оценка сплавов Количественная оценка сплавов и технологических вариантов сварки Не рекомендуется То же
4	Наплавка образцов отраслевых проб	Допустимые условия сварки, при которых не образуются ГТ	Выбор технологии сварки
5	Определение запаса сопротивляемости металла ГТ при сварке конструкции	Разность между действительным и допустимым показателями сопротивляемости ГТ для данной конструкции	Оценка стойкости конструкции против ГТ при сварке в заданных условиях

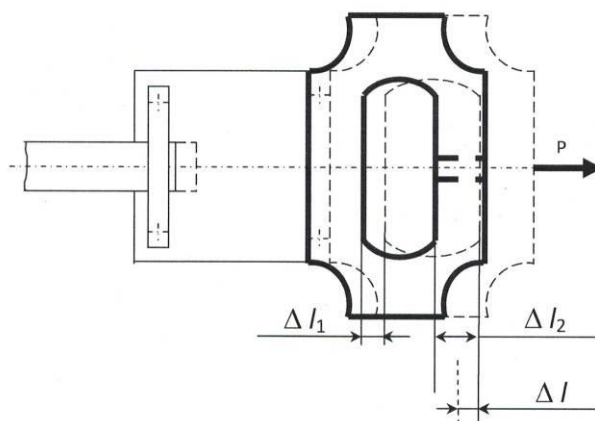
Установка имеет подвижную 2 (за счет вращения винтовой пары) и неподвижную губки 10 и крепится на стол наплавочной установки 11. На установке закрепляют две пластины 5 и 9, одна из которых (пластина 5) имеет возможность свободно перемещаться. Упругий элемент 4 (плоская пружина), который предназначен для фиксации перемещений и величины нагрузки образцов 7 в процессе наплавки, жестко связан с подвижной пластиной и подвижной губкой установки.

Непосредственно на упругом элементе (рисунок 2) устанавливают и поджимают винтом индикатор часового типа 3 (точность измерения – 0,001 мм), по которому фиксируют перемещения упругого элемента  $\Delta l_2$  и образца  $\Delta l_1$  при приложении растягивающей нагрузки.

Крепление образцов производят в зажимах 6 и 8, установленных на пластинах. Путем вращения винтовой пары динамометрическим ключом 1 возможно предварительное или в процессе наплавки нагружение образцов с заданной величиной с отслеживанием по индикатору величины перемещения упругого элемента.



**Рисунок 1. Экспериментальная установка по определению технологической прочности наплавленного металла: а) схема закрепления пластины: 1 – динамометрический ключ; 2, 10 – подвижная и неподвижная губки; 3 – индикатор; 4 – упругий элемент; 5, 9 – подвижная и неподвижная пластины; 6, 8 – зажимы; 7 – образец; 11 – стол наплавочной установки; б) внешний вид установки**



**Рисунок 2. Схема измерения перемещений на установке:  $\Delta l$  – показания индикатора;  $\Delta l_1$  – перемещение образца;  $\Delta l_2$  – перемещение упругого элемента**

Форму образцов для предложенного метода испытания наплавленного металла выбирают исходя из следующих критериев:

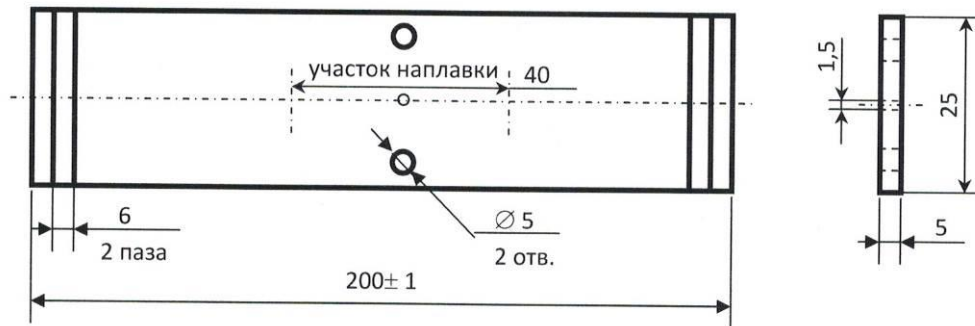
- образец должен обладать минимальной жесткостью, чтобы была возможность испытывать наплавленный металл при малых значениях растягивающей нагрузки;
- размеры образца должны быть выбраны таким образом, чтобы получить значения скорости охлаждения наплавленного металла не ниже критической скорости закалки;
- образец должен обеспечить концентрацию деформаций в испытуемом сечении при приложении усилий к его концам.

Данным критериям соответствуют образцы из полосы 5×25 мм (сталь 30ХГСА,  $\sigma_T = 830$  МПа, ГОСТ 103-76) длиной 200 мм (рисунок 3).

Вблизи торцов фрезеруют пазы глубиной 1 мм для надежного крепления образцов в приспособлении. В образцах сверлят два отверстия диаметром 5 мм, чтобы обеспечить концентрацию напряжений в исследуемом сечении при деформировании образца. Диаметр отверстий выбирают исходя из условия качественного формирования валика и предотвращения вытекания наплавленного металла в отверстия при наплавке.

По центру образца сверлят отверстие диаметром 1,5 мм для закрепления термомпары.

С целью возможности определения величины растягивающей нагрузки производят тарировку упругого элемента, т.е. определяют зависимость перемещений  $\Delta l_2$  упругого элемента от прикладываемой к нему растягивающей нагрузки.



**Рисунок 3. Образцы для исследования технологической прочности наплавленного металла**

Приложение к образцу растягивающей нагрузки до и в процессе наплавки позволяет оценить запас технологической прочности наплавленного металла при его различных температурах в исследуемом сечении. Значения растягивающей нагрузки, приложенной к образцам, последовательно увеличивают до появления в наплавленном металле горячих трещин.

За критерий технологической прочности наплавленного металла принимают максимальную деформацию образца в температурном интервале хрупкости при установленном значении растягивающей нагрузки, когда горячие трещины в наплавленном металле не образуются.

Приложение растягивающей нагрузки одной и той же величины перед наплавкой и в процессе наплавки (в области упругой и пластической деформации) вызывает различные по величине деформации образца из-за изменения механических свойств основного металла с повышением его температуры.

Приложение растягивающей нагрузки  $P$  перед наплавкой в области упругой деформации позволит определить критические значения растягивающих напряжений в испытуемом сечении образца, при которых образуются горячие трещины в наплавленном металле. Показания индикатора  $\Delta l$  в этом случае соответствуют деформации упругого элемента  $\Delta l_2$ .

Нагружение растягивающей силой в процессе наплавки, когда значения температуры наплавленного металла в испытуемом сечении соответствуют температурному интервалу хрупкости, позволяет оценить стойкость наплавленного металла к образованию горячих трещин посредством измерения критической деформации образца. Показания индикатора  $\Delta l$  на установке соответствуют разности деформаций упругого элемента  $\Delta l_2$  и пластины  $\Delta l_1$ .

### Заключение

Предотвращение образования трещин является одной из основных задач при получении наплавленного металла с легированностью твердого раствора на уровне закаленного.

Применение технологии наплавки при изготовлении инструмента с режущей частью из быстрорежущих сталей не позволяет в полном объеме применять известные разрушающие методы контроля сварных соединений, в частности исследования технологической прочности. Наплавка, хоть и является родственным процессом сварки, имеет свои особенности в части тепловых процессов в основном и наплавленном металлах и структурных преобразований в них.

Так, получение наплавленной быстрорежущей стали в закаленном состоянии с номером зерна 11 является той технологической задачей, которая успешно решается при соблюдении заданного термического цикла. Соответственно, критерии технологической прочности, заложенные в известных методах в данном случае неприемлемы.



В предложенной методике используются основные принципы известного метода по определению напряжений в наплавляемом образце при возникновении горячих трещин при температурах, близких к линии солидуса [6] (схема нагружения, использование упругого элемента, растягивающая нагрузка при наплавке и др.).

За критерий технологической прочности наплавляемого металла принимают максимальную деформацию образца в температурном интервале хрупкости при установленном значении растягивающей нагрузки, когда горячие трещины в наплавленном металле не образуются.

### Литература

1. Пат. 2483120 Российская Федерация, МПК С 21 D 8/00, С 21 D 9/22, С21 D 7/13. Способ упрочнения наплавленной быстрорежущей стали / Барчуков Д.А. [и др.]. Оpubл. 27.05.2013, Бюл. № 15. 4 с.
2. Барчуков Д.А. Ресурсосберегающая технология изготовления резьбового резца с упрочненной режущей частью / Научное обозрение. 2012. № 5. С. 404 – 407.
3. Лаврентьев А.Ю. Изменение структуры и свойств зоны термического влияния при изготовлении наплавленного инструмента из быстрорежущих сталей / А.Ю. Лаврентьев, А.М. Дождев, Д.А. Барчуков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. №5 (56). С. 14 – 20.
4. Сварка в машиностроении. Справочник в 4 томах. Том 3. / Под ред. В.А. Винокурова. М.: «Машиностроение», 1979. 567 с.
5. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров. М.: «Высшая школа», 1990. 446 с.
6. Прохоров Н.Н. Горячие трещины при сварке. М.: Машгиз, 1952. 224 с.

### ***Долговечность машиностроительной продукции***

д.т.н. проф. Зинченко В.М., к.т.н. проф. Маневский С.Е., к.т.н. доц. Прохорова А.И.  
*Университет машиностроения*  
8 (495) 223-05-23, доб. 15-51, [kafmaterialy@mail.ru](mailto:kafmaterialy@mail.ru)

*Аннотация.* В статье отмечается, что при производстве детали необходима комплексная оценка на основе технологической наследственности по ходу всего процесса её изготовления. В результате реализации принципов инженерии поверхности разработана новая система показателей, включающая как известные, так и новые показатели и критерии.

*Ключевые слова:* структура, свойства, заготовки, детали, критерии, технологическая наследственность, инженерия поверхности.

### **Введение**

Цель любого производства – изготовление изделий стабильно высокого качества.

Однако, на практике наблюдается значительный разброс эксплуатационных свойств объектов производства. Большинство деталей, узлов, агрегатов сложных изделий, например, автомобилей, тракторов, станков, надёжно и длительно работают, но часть деталей из-за недостаточной прочности разрушаются преждевременно. Таким образом, на производстве по одной технологической документации на одном и том же оборудовании изготавливают одновременно детали с разным качеством: высоким и низким. Причём срок службы одноимённых деталей может отличаться существенно, например, для автомобильных зубчатых колёс в 8 – 10 раз [1].

Поэтому перед машиностроителями остро стоит проблема повышения качества деталей, но не всех, а только некоторой части. Это значит, что перед производством стоит задача стабилизации качества производимых деталей за счёт уменьшения доли деталей, обладаю-