

551271

На правах рукописи

ВАРДУМЯН Тигран Ашотович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ
ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

05.03.05. - Процессы и машины обработки давлением

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА 1996

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом
Университете имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - Засл. деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук;
профессор Овчинников А.Г.

Научный консультант - доктор технических наук,
профессор Гарибов Г.С.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Галкин А.М.

- кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Белоаеров А.П.

Ведущее предприятие - НИИ "Темп"

Защита диссертации состоится "15" мая 1996 года
в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета К.053.15.13
в Московском Государственном Техническом Университете им.Н.Э.Ба-
умана по адресу: 107005, Москва, 2-ая Бауманская ул., дом 5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный пе-
чатью, просим направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ
Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан "12" апреля 1996г.

Ученый секретарь диссертационного
совета, к.т.н., доцент

 Шубин И.Н.

Подписано к печати 29.03.96. Заказ №124 Объем 1 п. л.
Тираж 100 экз. Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Для увеличения ресурса мощных и надежных авиационных двигателей необходимо создание новых материалов, способных длительное время работать при высоких температурах и высоких нагрузках. Повышение рабочих температур двигателей до 850-900°C позволяет улучшить их к.п.д. и технические характеристики, которые могут быть достигнуты только при использовании новых жаропрочных материалов и технологических процессов.

Пластическую деформацию жаропрочных сплавов осуществляют в строго определенных регламентированных температурно-скоростных условиях с заданной степенью деформации, поскольку отклонения от установленного термомеханического режима деформации влияет на интенсивность рекристаллизационных процессов и обуславливает нерегламентированную структуру материала.

Для установления рациональных параметров технологии прессования новых жаропрочных сплавов необходимо провести комплексные исследования процесса.

Целью работы является исследование и разработка рациональных технологических параметров горячего прессования гранулированных жаропрочных никелевых сплавов ЭП741НП, ЭП962П и ЭП975П, а также разработка и апробирование технологии производства прессованных прутков и профилей.

Для достижения указанной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- исследование сопротивления деформированию и пластичности прессуемого материала при температурах, скоростях и степенях деформации, присущих горячему прессованию;
- установление температурно-скоростного диапазона деформации, учитывающего тепловые потери заготовки в результате промежуточных операций процесса прессования;
- разработка конструкции матрицы и геометрии ее рабочей поверхности для прессования жаропрочных сплавов;
- исследование теплофизических характеристик новых технологических смазочных материалов;
- разработка и апробация технологии горячего прессования новых гранулированных жаропрочных никелевых сплавов с учетом предложенной в диссертации методики,

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1551271

Вардунян Т.А. Исследование



Методы исследования. В работе применены экспериментальные методы исследования реологических характеристик, которые проведены на испытательной машине FP 100/1 и на пластометре при испытаниях на растяжение, а для моделирования процесса прессования использован метод координатных сеток. Экспериментальные данные обработаны на основе теории вероятности и статистики.

Научная новизна. Впервые исследованы термомеханические и деформационные характеристики новых гранулированных жаропрочных никелевых сплавов ЭП741НП, ЭП962П и ЭП975П при температурно-скоростных условиях горячего прессования.

Предложен новый метод построения рациональной геометрии образующей матрицы для прессования жаропрочных сплавов.

Исследованы теплофизические характеристики новых технологических смазочных материалов на основе горных пород, позволившие улучшить процесс прессования жаропрочных сплавов;

Предложены рациональные температурно-скоростные параметры прессования прутков из жаропрочных никелевых сплавов ЭП741НП, ЭП962П и ЭП975П.

Практическая ценность. На основе экспериментальных данных установлены необходимые температурно-скоростные условия и предложены технологические смазочные материалы для прессования жаропрочных никелевых сплавов.

Предложенный метод построения геометрии матрицы позволяет удерживать смазочный материал в обжимающей части пластической зоны и улучшить качество поверхности пресс-изделий в результате уменьшения радиусного перехода к калиброванному очку матрицы.

Апробация работы. Основные разделы диссертации доложены и обсуждены: в лаборатории горячего прессования жаропрочных сплавов ВИС'а (1994г), на заседании кафедры МТ-6 МГТУ им.Н.Э.Баумана (1995г и 1996г), на научно-техническом семинаре "Металлургия гранул и изостатическое прессование" в ВИС'е (1995г).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликованы 3 печатных работы.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 193 страницах и содержит 115 страниц машинописного текста, 40 рисунков, 25 таблиц и список литературы из 135 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, дана общая характеристика работы.

В первой главе проведен анализ технологии горячего прессования жаропрочных никелевых сплавов и выявлены проблемы, связанные с обработкой вышеуказанных сплавов. Большой интерес к этим сплавам связан с развитием авиационного машиностроения, так как повышаются требования к созданию более надежных двигателей с большим ресурсом эксплуатации, способных длительное время работать при высоких температурах.

Определенная роль в повышении жаропрочности при высоких температурах принадлежит степени легирования, которая, в свою очередь, приводит к повышению сопротивления деформированию и к снижению пластичности.

Широкие перспективы в области легирования сплавов открывает металлургия гранул, где в результате чрезвычайно высоких скоростей кристаллизации, можно изготавливать микрослитки-гранулы с практически неограниченной степенью легирования. Это дает возможность исключить ливкацию в слитке и гетерогенизацию структуры, которые являются причиной снижения технологической пластичности. Однако, усложнение состава сплава легирующими элементами приводит к необходимости сужения температурного интервала, в области которого возможна горячая пластическая деформация.

Жаропрочные никелевые сплавы относятся к категории дисперсионно-упрочняемых в состоянии твердого раствора и имеют структуру, которая состоит из матрицы-гамма-фаза с отдельными включениями карбидов и нитридов. Основа сплава, т.е. гамма-фаза, имеет гранецентрированную кубическую решетку, параметры которой зависят от его химического состава и возрастают при введении в сплавы элементов с большими атомными радиусами (Cr, Mo, Co, W, V, Ni). Часть легирующих элементов упрочняет матричный твердый раствор, а Al и Ti образуют метастабильную δ -фазу, которая является основной упрочняющей фазой в большинстве никелевых сплавов. Поэтому эти сплавы имеют повышенную температуру рекристаллизации (превышающую 1000°C) и более низкую скорость разупрочняющих процессов.

Во время пластической деформации в сплаве происходит ин-

тенсивный сдвиг гранул относительно друг друга и разрушение границ гранул, которое, в свою очередь, способствует их консолидации по обновленным поверхностям контакта. Такое поведение их приводит к снижению вредных влияний инородных поверхностных дефектов на прочность сплавов и позволяет эффективно управлять макро- и микроструктурой материала с помощью технологических параметров.

Горячее прессование жаропрочных сплавов необходимо выполнять в строго регламентированных температурно-скоростных условиях с заданной степенью деформации.

При прессовании жаропрочных сплавов, проводимом при высоких температурах ($T=1150-1210^{\circ}\text{C}$) и напряжениях (750 МПа), в особенно тяжелых условиях работы находятся матрицы. Напряжение, которое может выдержать матрица без разрушения или пластического износа рабочих элементов, является одним из факторов, ограничивающих процесс прессования. Улучшение условий работы матрицы возможно при использовании технологических смазочных материалов, обладающих высоким сцеплением с поверхностью матрицы и низкими теплопроводными характеристиками.

Форма образующей воронки матрицы имеет большое значение для снижения удельной деформирующей силы, она влияет на износостойкость матрицы и качество поверхности прессованных изделий.

В связи с этим в главе проведен анализ работ по технологическим смазочным материалам и по проектированию профиля образующей воронки матрицы, с помощью которых можно обеспечить минимальные удельные силы прессования.

Во второй главе приведены методики экспериментальных исследований процесса горячего прессования при лабораторных и промышленных условиях. Для математического и физического моделирования необходимо знать некоторые характеристики, такие как механические свойства, коэффициент трения и форма рабочей поверхности инструмента, скорость деформации при температурах прессования, которыми варьируют при проектировании технологического процесса.

Моделирование процесса прессования жаропрочных сплавов ЭП741НП, ЭП962П и ЭП975П представляет значительные трудности, обусловленные некоторыми особенностями, такими как: низкая пластичность, высокое сопротивление деформированию, упрочнение

при высоких температурах и малая теплопроводность. Очевидно, что для таких сплавов, окончательные выводы можно делать только после исследования процесса прессования в промышленных условиях.

Исследование характера течения металла, которое оказывает существенное влияние на силовые параметры и качество пресс-изделия, можно проводить на свинцовых образцах, у которых при комнатной температуре происходит рекристаллизация, а следовательно и процесс горячей деформации. Кроме моделирования процесса прессования в лабораторных условиях, необходимо провести ряд исследований по определению различных характеристик, необходимых при назначении технологических режимов прессования.

Знание реологических характеристик необходимо при разработке технологического процесса прессования. Это особенно важно для новых жаропрочных сплавов, которые имеют узкий температурный интервал прессования. Поэтому, целесообразно изучить влияние реологических характеристик сплавов в широком диапазоне скоростей и температур деформации.

При проведении испытаний определяли сопротивление деформированию и показатели пластичности: временное сопротивление - σ_b , относительное удлинение - δ и относительное сужение - ψ . Показатели пластичности и сопротивления деформированию определяли при испытаниях на растяжение на испытательной машине FP100/1 и на пластометре, поскольку при любых схемах нагружения, разрушение происходит под действием растягивающих напряжений.

Напряжение трения в значительной степени можно уменьшить, применяя смазочные материалы, которые эффективно действуют в процессе прессования, одновременно обеспечивая надежную тепловую защиту и снижение износа рабочей поверхности инструмента. Поскольку, при моделировании процесса на свинцовых образцах в качестве смазочного материала не можем использовать такие материалы, которые используются при высоких температурах, то очевидно, что для выяснения эффективности смазывающих средств необходимо провести их лабораторные исследования, а затем применять полученные результаты в процессе прессования в промышленных условиях.

В третьей главе представлены результаты анализа напряженно-го состояния обжимающей части заготовки при прессовании и построение рациональной геометрии образующей воронки матрицы.

При обычных условиях прессования, когда радиальные деформации по всему объему одинаковы, внутренние слои движутся быстрее периферийных. В результате появляются дополнительные напряжения: в периферийных слоях - растягивающие, так как каждый внутренний слой, двигаясь быстрее соседнего внешнего, увлекает его за собой, а во внутренних - сжимающие, так как каждый внешний слой сдерживает движение соседнего внутреннего. Вследствие стремления к выравниванию напряжений на наружных слоях металла возникают дополнительные продольные напряжения растяжения, уменьшающиеся по направлению от периферии к оси, а в зоне внутренних слоев - дополнительные продольные напряжения сжатия, увеличивающиеся по направлению к оси. В некоторых случаях, дополнительные напряжения становятся больше основных продольных напряжений сжатия, изменяют вид напряженного состояния металла и переводят неравномерное всестороннее сжатие в двустороннее сжатие и продольное растяжение. Зона с разноименными напряжениями находится ближе к выходу из обжимающей части пластической зоны ввиду того, что по направлению к выходу основные напряжения падают, а дополнительные возрастают. Поскольку, скорость проскальзывания деформированного металла относительно поверхности воронки увеличивается в направлении прессования, то износ матрицы существенно зависит от применяемого вида профиля матричной воронки.

Рекомендации по выбору оптимального угла конуса матричной воронки, обеспечивающей минимальную силу прессования, можно применять лишь в качестве первого приближения для определения, например, среднего угла инструмента сложной геометрии. Если учесть и то, что жаропрочные сплавы имеют разные углы истечения металла в очаге деформации, и что для каждого сплава в отдельности необходимо знать оптимальный угол течения, который устанавливается только экспериментальным путем, то очевидно, что задача состоит не столько в определении оптимального угла течения металла, который можно контролировать с помощью смазочных шайб, сколько в построении формы образующей, которая будет соответствовать вихревому характеру течения металла и иметь наименьшую длину.

Для получения оптимальной геометрии образующей матрицы необходимо воспользоваться геометрическими построениями, с тем

чтобы длина образующей была максимально близкой к длине, соответствующей образующей конической матрицы. Это можно осуществить построением образующей с помощью дуг, которое отличается от построения, предложенного Толчинским М.С. (рис.1).

Поскольку, необходимо построить две дуги таким образом, чтобы длина их совпала с длинами отрезков АС и ВС (см.рис.1), то для решения этой задачи целесообразно найти такой способ построения, с помощью которого можно получить длину любой кривой. Исследования показали, что на практике встречаются два способа построения в зависимости от величины радиусов скругления (рис.2). Если $\angle > 30^\circ$, то длину дуги можно определить, проводя из точек Д и Е линии ДС и ЕВ под углом 77° по отношению к ДГ и ЕГ до пересечения с линией МН. В случае, если $\angle \leq 30^\circ$, то построение производится аналогично, но вместо предыдущего угла, используется угол 83° .

Для решения обратной задачи, когда известна длина дуги, необходимо воспользоваться коэффициентами K_1 и K_2 ($K_1 = CF/DG$ и $K_2 = CF/FG$). При малых радиусах образующей, когда $\angle > 30^\circ$ (77°) $K_1 = 1,4$, а $K_2 = 1,7$; при больших радиусах, когда $\angle \leq 30^\circ$ (83°) $K_1 = 1,1$, а $K_2 = 2,8$. Имея радиусы дуг для получения образующей матрицы, необходимо проводить дуги таким образом, чтобы они начинались с точек А и В (т.е. начало и конец рабочей зоны). Средняя коническая зона образующей получается, если провести касательную линию двух дуг с центрами O_1 и O_2 (рис.1).

Указанный метод построения образующей позволяет решать две задачи: наличие во второй зоне очага деформации конической образующей позволяет удерживать смазочный материал в обжимающей части пластической зоны, а уменьшение радиусного скругления к калиброванному очку матрицы приводит к улучшению качества поверхности изделия. Изложенное выше подтверждено графиками затрат энергии, поскольку при прессовании жаропрочных сплавов деформирующая сила имеет минимальное значение при использовании матриц с коническими образующими в очаге деформации.

В процессе горячего прессования жаропрочных сплавов важная роль принадлежит выбору вида технологической смазочной шайбы, так как наибольшее влияние на формирование бокового профиля естественной воронки матрицы оказывают свойства смазочного материала.

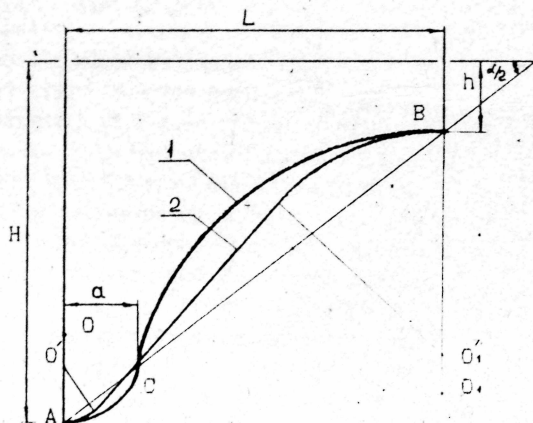


Рис.1. Построение рациональной геометрии образующей матрицы:
1 - построение с помощью окружностей;
2 - построение с помощью дуг.

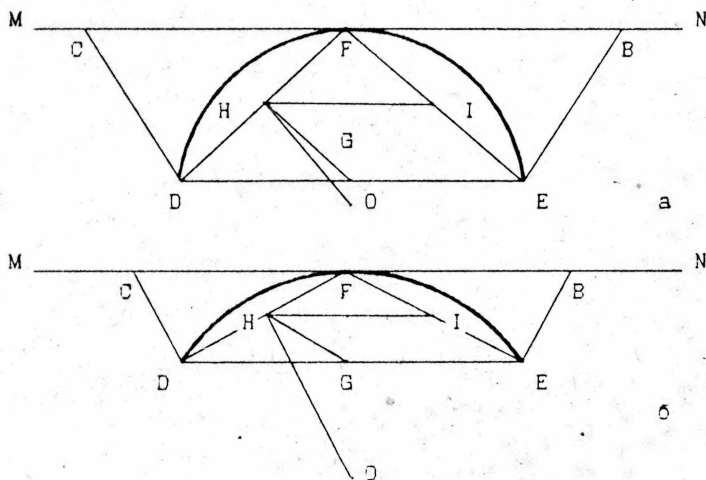


Рис.2. Метод построения дуг: а - при $\angle > 30^\circ (77^\circ)$ и б - при $\angle \leq 30^\circ (83^\circ)$.

Боковые профили естественных воронок в технологических шайбах в зависимости от смазочных свойств шайбы, геометрии переднего торца заготовки и калибровки матрицы, могут быть выпуклыми, сигмоидальными и коническими. Эти виды профилей охватывают основные типы калибровок матриц, которые применяют при прессовании. Следовательно, технологическую смазочную шайбу можно рассматривать не только как источник смазки, но и как часть матрицы, в которой можно обеспечить формирование необходимого профиля воронки. Это дает возможность избежать трудоемких работ по изготовлению воронки матрицы.

В четвертой главе проведены экспериментальные исследования параметров процесса горячего прессования жаропрочных сплавов на никелевой основе.

1. Экспериментальное исследование реологических характеристик новых жаропрочных никелевых сплавов ЭП741НП, ЭП962П и ЭП962П проводили при температурах $T=1000-1200^{\circ}\text{C}$ с интервалом 50°C и скоростях деформации $\dot{\epsilon}=1 \times 10^{-1}$, $3,3 \times 10^{-2}$ и $1 \times 10^{-3} \text{c}^{-1}$. В некоторых случаях для уточнения полученных данных проведены испытания при промежуточных температурах (950 , 1175 и 1220°C).

На основе результатов испытаний построены графики зависимостей реологических характеристик от температуры при различных скоростях деформации для исследуемых сплавов (рис.3 и 4).

В отличие от монотонного уменьшения прочностных характеристик по мере повышения температуры характер изменения относительного удлинения δ и относительного сужения ψ более сложен и для каждого сплава имеет свои особенности. Однако, несмотря на различие этих кривых, общим являются характер изменения кривых от скорости деформации и проявления максимума. При сравнительно высоких скоростях ($\dot{\epsilon}=1 \times 10^{-1} \text{c}^{-1}$) в зависимости от температуры кривые имеют максимум в области $950-1000^{\circ}\text{C}$ и затем с повышением температуры резко падают и имеют минимальное значение при температуре 1200°C . При более низких скоростях деформации ($\dot{\epsilon}=3,3 \times 10^{-2}$ и $1 \times 10^{-3} \text{c}^{-1}$), наоборот, с увеличением температуры значения характеристик увеличиваются (особенно для сплавов ЭП741НП и ЭП975П) и резко уменьшаются после 1210°C .

Кривые деформационного упрочнения $\sigma_s = f(\bar{\epsilon})$ в зависимости от степени деформации для исследуемых сплавов при высоких температурах изменяются незначительно. Характер кривых в большой

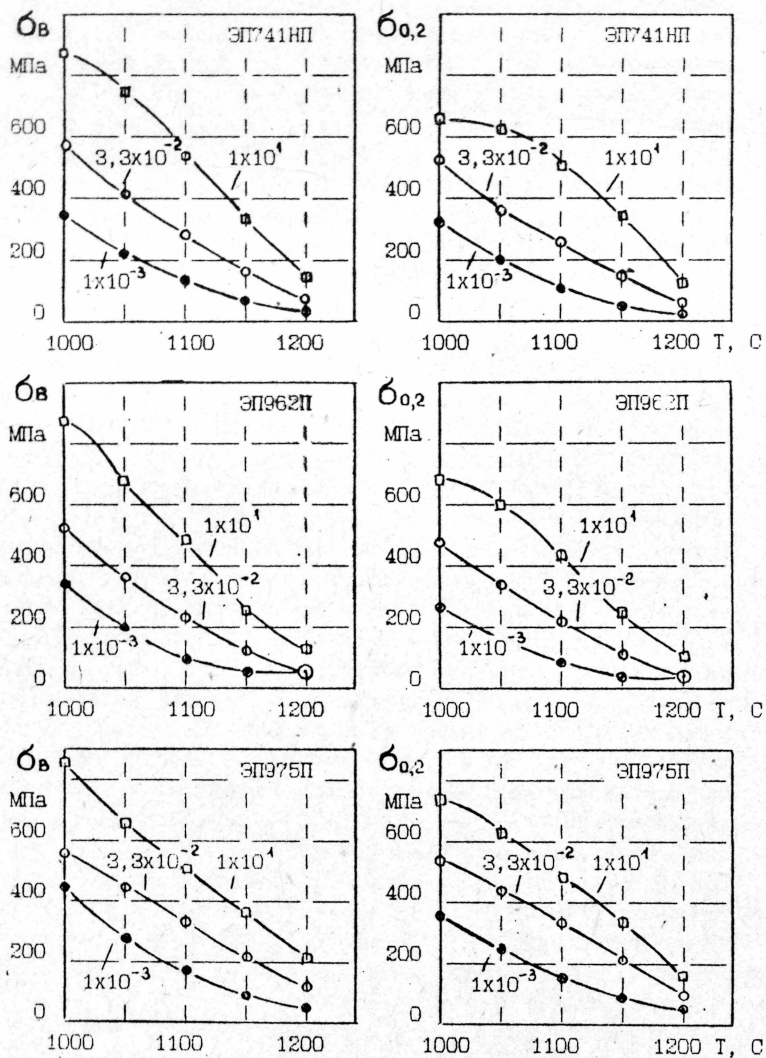


Рис.3. Температурная зависимость временного сопротивления $\sigma_{\text{в}}$ и условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ для сплавов ЭП741НП, ЭП962П и ЭП975П при различных скоростях деформации, с $^{-1}$.

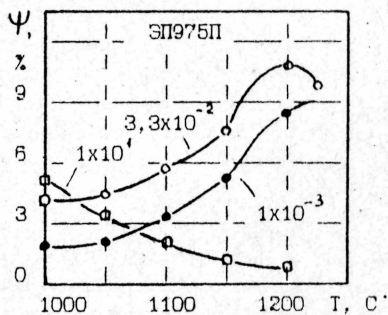
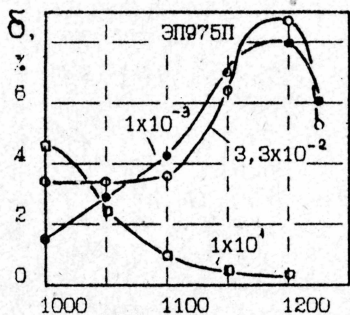
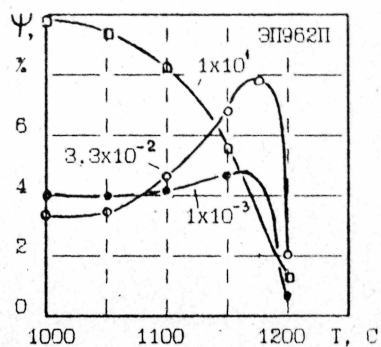
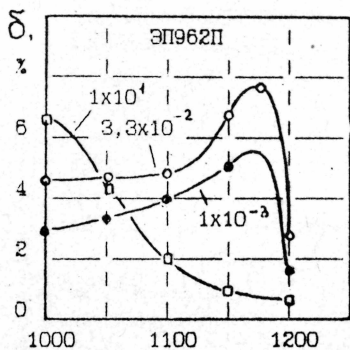
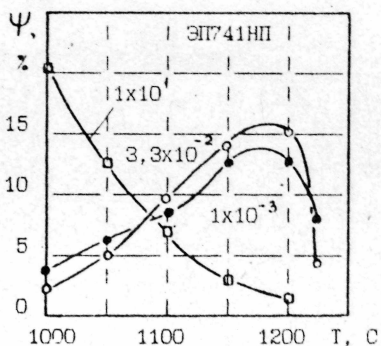
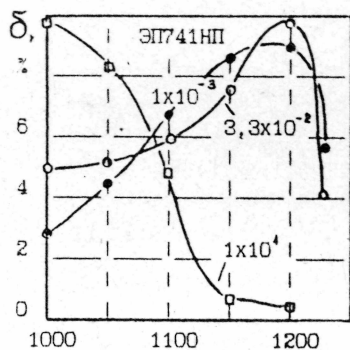


Рис. 4. Температурная зависимость относительного удлинения δ и поперечного сужения ψ для сплавов ЭП741НП, ЭП962П и ЭП975П при различных скоростях деформации, с $^{-1}$.

степени зависит от температуры испытаний. В диапазоне температур 950-1050°C наблюдается более заметное изменение деформационного упрочнения σ_s от степени деформации ($\bar{\epsilon}$). При более высоких температурах кривые $\sigma_s = f(\bar{\epsilon})$ принимают форму почти прямой линии. При значениях $\bar{\epsilon} > 0,02$ кривые близки к горизонтальным, т.е. сопротивление деформированию сохраняет практически постоянное значение.

2. Выбор состава смазочного материала для горячего прессования жаропрочных сплавов осуществлен на основе данных, которые получены при проведении экспериментальных исследований в промышленных условиях на ВИСе. В результате многократных апробаций различных составов смесей были отобраны составы смазочных материалов для более полных исследований в диапазоне температур от 20 до 1400°C. Анализ данных этих исследований показывает, что температура начала размягчения и растекания смазочных материалов зависит от содержания в их составе бентонита и связующего. Это дает возможность подобрать рациональный температурный диапазон использования технологических смазочных материалов для прессования изделий из различных металлов и сплавов.

Поскольку, надежную тепловую защиту и минимальный износ инструмента от горячего металла обеспечивает тот смазочный материал, который обладает меньшей теплопроводностью (λ), большей объемной теплоемкостью ($\rho \times c$) и меньшим коэффициентом температуропроводности ($a \times 10$), то для прессования жаропрочных сплавов более перспективны технологические смазочные материалы на основе базальта, вулканического шлака и шамота.

3. Экспериментальные исследования процесса прессования на свинцовых образцах из двух половинок с нанесенной в меридиональном сечении координатной сеткой показывают, что по мере движения металла к выходу из матрицы деформированные ячейки поворачиваются вокруг своих осей и постепенно принимают вертикальное положение, совпадающее с направлением движения. Как через коническую, так и через спецматрицу (предлагаемую в Гл.3), оси ячеек вертикальных рядов по мере приближения к очку матрицы передвигаются в сторону центральной оси и их оси образуют кривую линию, лежащую в нижней части ближе к центру.

Исследования показывают, что скорость течения металла по сечению при прессовании неодинакова. Так, в центральной части

она максимальна, а по мере приближения к стенкам матрицы уменьшается, принимая минимальное значение у ее поверхности. Интенсивность деформации, наоборот, увеличивается от центра к периферии и растет от переднего к концу заготовки вдоль оси до определенной величины, которая обусловлена коэффициентом вытяжки.

4. При физическом моделировании процесса прессования в лабораторных условиях с двумя типами матриц в одинаковых условиях выяснилось, что при использовании спецматрицы усилие прессования и напряжения трения на стенках контейнера на 10-15% меньше, чем при конической матрице, а напряженно-деформированное состояние идентично для обоих типов матриц.

В пятой главе даны рекомендации по разработке основных технологических параметров прессования, взаимного расположения оборудования для горячего прессования жаропрочных сплавов и результаты апробации жаропрочного сплава ЭИ89ЗВД с учетом предложенной в диссертации методики.

Выбор рационального температурного диапазона прессования зависит от некоторых факторов, которые должны обеспечить высокую пластичность металла, минимально возможное сопротивление деформированию прессуемого металла, получение профилей с максимальными прочностными характеристиками и материала с минимальной разнородностью. Для достижения указанных характеристик обычно требуются различные температуры нагрева заготовки, поскольку различные факторы оказывают противоположное влияние на основные показатели процесса. При этом, для выбора оптимального температурного интервала нагрева заготовки необходимо предпочтение отдавать тому фактору, который в данном процессе имеет решающее значение.

На основе проведенных экспериментальных исследований были получены следующие рациональные температурные диапазоны, которые соответствуют максимальным пластическим характеристикам исследуемых сплавов:

для сплава ЭП741НП - 1200-1230°C;

для сплава ЭП962П - 1180-1210°C;

для сплава ЭП975П - 1195-1225°C.

Поскольку при назначении температуры нагрева заготовок должны быть учтены потери тепла при транспортировке заготовок от печи в контейнер пресса, которые составляют в среднем 5-8°C

в секунду, то в качестве рациональных можно рекомендовать температуры нагрева на 20-50°C больше.

Наряду с температурами нагрева заготовки, важнейшим фактором, определяющим температурные условия в пластической зоне, является скорость прессования, поскольку при ее повышении увеличивается скорость деформации и, как следствие, возрастает величина сопротивления деформированию обрабатываемого сплава. Это, в свою очередь, увеличивает тепловой эффект деформации и повышает температуру металла в пластической зоне. В результате этого температура может превысить вышеуказанные значения, при которых на поверхности профилей возможно образование трещин.

Анализ результатов исследований показывает, что скорость прессования жаропрочных никелевых сплавов главным образом определяют пластические характеристики деформируемого металла и максимально допустимые удельные силы прессования.

Максимальную пластичность для вышеуказанных сплавов наблюдали при скоростях деформации $3,3 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$. При уменьшении скорости деформации от $3,3 \times 10^{-2}$ до $1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ наблюдается снижение температурного интервала, соответствующего максимуму пластичности.

Повышение эффективности производства и улучшение качества продукции неразрывно связаны с проблемами совершенствования существующих и разработкой новых технологических процессов, а также проектированием и созданием специализированного оборудования. В связи с этим, при проектировании линии горячего прессования жаропрочных сплавов, была обеспечена компактность ее расположения и соответствующая последовательность технологических операций. При этом осуществлена автоматизация вспомогательных операций и соблюдена непрерывность технологического цикла.

Предлагаемое взаимное расположение оборудования с использованием дополнительных вспомогательных операций позволяет сократить производственные издержки, а применение в технологическом цикле горячего прессования гидравлического передающего устройства дает возможность избежать трудоемких работ, связанных с нагревом заготовок. Уменьшив перепад температуры нагретой заготовки можно обеспечить хорошие пластические свойства и высокое качество поверхности пресс-изделий.

Поскольку гранулированные жаропрочные никелевые сплавы являются очень дорогостоящими материалами, апробацию проводили на

жаропрочных сплавах ЭИ893ВД, ЭП310П, ЭИ867П с использованием предложенных в диссертации технологических смазочных материалов и матриц специальной геометрии. Прессование вели на горизонтальном прессе усилием 2000 МН из контейнеров 115 и 150 мм. Результаты испытаний механических свойств и качество поверхности отпрессованных профилей и прутков удовлетворяют требованиям технических условий.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложен метод построения рациональной геометрии обрабатываемой воронки матрицы для прессования жаропрочных никелевых сплавов, позволяющий удерживать смазочный материал в обжимающей части пластической зоны. Уменьшение радиусного перехода (r_m) к калиброванному очку матрицы улучшает качество поверхности пресс-изделия.

2. Показана эффективность матрицы со специальным рабочим профилем по сравнению с обычной конической матрицей ($\alpha = 25^\circ$). При физическом моделировании усилие прессования и напряжение трения уменьшилось на 10-15%.

3. Показано, что при использовании матрицы со специальным профилем, искажения координатной сетки более однородны по сравнению с конической матрицей.

4. Температурные зависимости прочностных характеристик (σ_b , $\sigma_{0.2}$) для исследованных в работе новых гранулированных жаропрочных сплавов идентичны и с повышением температуры эти значения монотонно снижаются.

Характер изменения показателей пластичности (δ и ψ), в отличие от прочностных показателей, более сложный. При скорости $\dot{\epsilon} = 1 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ с повышением температуры выше 1000°C показатели пластичности снижаются, а при более низких скоростях с повышением температуры эти показатели растут ($\dot{\epsilon} = 3,3 \times 10^{-2}, 1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$), особенно при температурах $1160-1210^\circ\text{C}$.

5. Установлены следующие рациональные температурно - скоростные параметры обработки давлением:

для сплава ЭП741НП - $T = 1200-1230^\circ\text{C}$; $\dot{\epsilon} = 3,3 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$;

для сплава ЭП962П - $T = 1180-1210^\circ\text{C}$; $\dot{\epsilon} = 3,3 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$;

для сплава ЭП975П - $T = 1195-1225^\circ\text{C}$; $\dot{\epsilon} = 3,3 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$.

6. Эффективность разработанных смазочных материалов на ос-

нове базальта, вулканического шлака, вспученного перлита, природного цеолита и шамота, обладающих в диапазоне температур 1000-1200°С низкой теплопроводностью $(1,0-1,8) \times 10^6 \text{ Дж/м}^3\text{К}$ и малым коэффициентом температуропроводности $(0,25-0,45) \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, состоит в существенном улучшении технологического процесса прессования, повышении стабильности качества поверхности пресс-изделий и стойкости инструмента.

7. Предложенные смазочные материалы на основе горных пород дают возможность избежать недостатки, присущие для стеклосмазок. Установлено, что технологические шайбы можно применять в качестве элемента матрицы для получения соответствующего вида истечения металла в зависимости от прессуемого сплава.

8. Расположение оборудования для горячего прессования жаропрочных никелевых сплавов, предложенное в работе, обеспечивает необходимую очередность технологических операций. При этом осуществлена автоматизация вспомогательных операций при соблюдении непрерывности общего цикла горячего прессования.

9. Установлено, что качество поверхности прессованных прутков из сплава ЗИ89ЗВД, их макроструктура и механические свойства соответствуют требованию ТУ1-809-541-95.

10. Условный экономический эффект при прессовании прутков за счет повышения их качества и снижения затрат на экспериментальные работы составит 96млн. рублей при производстве 1тн прутков диаметром 100-120 мм из сплава ЭП975П (в ценах 1996 года).

Основное содержание работы отражено в следующих работах:

1. Вардумян Т.А., Гарибов Г.С., Овчинников А.Г. Исследование реологических характеристик жаропрочных никелевых сплавов ЭП741НП и ЭП962П // Изв. вузов. Цветная металлургия. - 1995. - N 3. - С. 46 - 48.

2. Вардумян Т.А. Технологические смазочные материалы для горячего прессования жаропрочных сплавов на основе горных пород // Исслед. в обл. теории, технологии и оборудования штамповоч. пр-ва. - Тула: ТулГУ, 1995. - С. 46 - 49.

3. Вардумян Т.А., Гарибов Г.С., Овчинников А.Г. Автоматизированная линия горячего прессования жаропрочных сплавов // Изв. вузов. Цветная металлургия. - 1995. - N 3. - С. 49 - 51.