

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШТАМПОВКИ ПОЛУОСИ

Дунаев К.Ю. – студент, Мамонтов М.С. – студент, Макаренко Д.А. – студент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В настоящее время до 80% горячештамповочных поковок изготавливают на молотах и прессах в открытых штампах [1]. При этом до 25% объема металла заготовки удаляется в отход. Одним из перспективных малоотходных процессов является штамповка на горячештамповочной машине (ГШМ). Однако, при штамповке на ГШМ длинномерных стержневых поковок при относительной длине  $\psi=l_g/D$  более трех, высадка осуществляется на ограниченный диаметр (здесь  $l_g$  – длина высаживаемого участка;  $D$  – диаметр заготовки). При высадке на ограниченный диаметр возникает большая неравномерность деформации высаживаемой части стержня, что ведет к искажению волокон металла и, как результат этого к уменьшению эксплуатационных свойств детали. Для осуществления свободной высадки при относительной длине ( $\psi$ ) более трех, разработан способ штамповки с градиентным нагревом заготовки от участка с максимальной ковочной температурой до нагрева концевой участка за счет теплопередачи с минимальной ковочной температурой. Такой метод нагрева позволяет осуществить последовательную свободную высадку длинномерных заготовок с одновременным набором металла и формовкой.

Алгоритм расчета технологических параметров высадки представлен на рис.1.

После ввода исходных данных производится расчет температурного параметра [2]

$$\theta = \frac{T_n - T_m}{T_n}, \text{ где } T_n - \text{температура нагреваемого участка, } T_m - \text{температура торцевой части}$$

заготовки. В случае если температурный параметр оказывается меньше чем 0,56 – производится перерасчет температуры и снова проверяется это условие. Далее рассчитывается объем высадки, после чего определяется длина высаживаемого участка заготовки. Определяется относительная длина, после чего сравнивается с допустимой относительной длиной ( $\psi_d$ ). Согласно результату сравнения штамповка осуществляется на кривошипном горячештамповочном прессе (КГШП) выдавливанием, набором металла на ГШМ с последующей формовкой или формовкой на ГШМ свободной высадкой. В случае если относительная длина находится в интервале от трех до шести – необходим расчет дополнительных параметров высадки.

Определение длины нагреваемого участка:  $l_n = \psi_d \cdot D$ .

Определение длины концевой участка:  $l_k = l_g - l_n$ .

$$\text{Определение времени цикла: } \tau_{\text{ц}} = \frac{\left(\frac{l_k}{1,5 \cdot \theta}\right)^2}{2 \cdot a}, \text{ где } a - \text{температуропроворность.}$$

Определение времени транспортировки [3]:  $\tau_{\text{мп}} = 0,006 \cdot D \cdot \Delta T$ , где  $\Delta T$  – изменение температуры в процессе охлаждения.

Определение времени нагрева:  $\tau_n = \tau_{\text{ц}} - \tau_{\text{мп}}$ .

$$\text{Определение мощности индукционного нагревателя: } W = \frac{c \cdot \rho \cdot V_g \cdot 10^{-9} \cdot (T_n - 20)}{\tau_n}, \text{ где } c$$

– теплопроводность.

Определение среднего удельного расхода электроэнергии:  $\gamma = W / \rho \cdot V_g$ .

Необходимо чтобы полученное значение расхода электроэнергии было меньше табличного, в противном случае производится изменение времени транспортировки, и расчет мощности нагревателя повторяется.

В конечном итоге мы получаем оптимальные параметры, обеспечивающие свободную высадку на ГШМ.

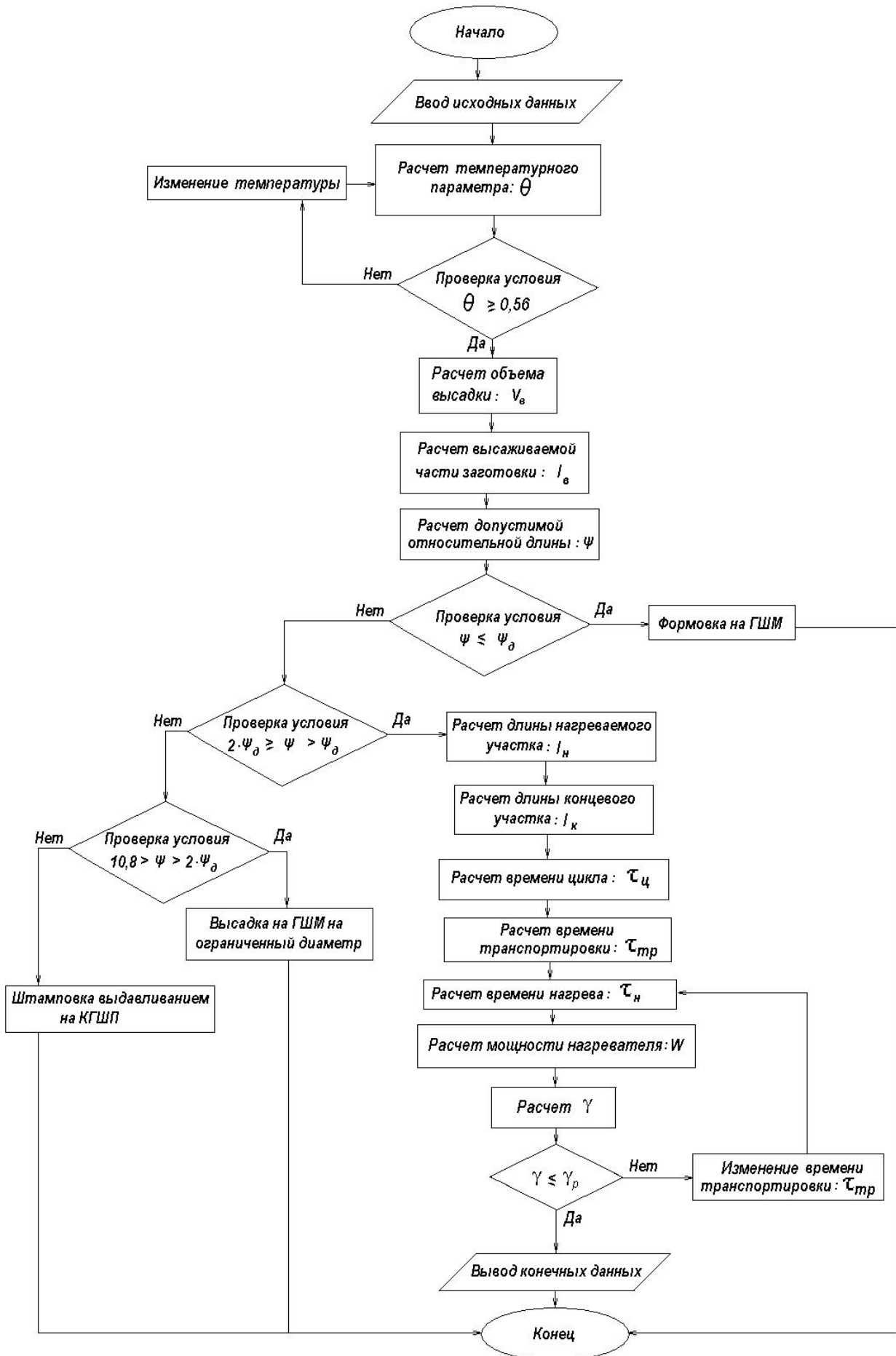


Рисунок 1 – Алгоритм расчета технологических параметров штамповки полуоси

Вывод

Разработан алгоритм расчета технологических параметров штамповки полуоси, обеспечивающий одновременную высадку и формовку длинномерных поковок при относительной длине высаживаемой части заготовки, превышающую допустимую.

Проведена программная реализация алгоритма.

Литература

1. Поксеваткин М.И. Курсовое проектирование по горячей объемной штамповке. Учебное пособие / М.И. Поксеваткин; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. – 123 с.

2. Описание изобретения к авт. св. СССР № 1316740 / А.И.Осколков, М.И. Поксеваткин, Е.М. Пузырев.: Бюл. № 22, 1987.

3. Охрименко П.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. – М.: Машиностроение, 1976. - 580 с.

## ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЯ И СТАЛИ С МАРТЕНСИТНОЙ СТРУКТУРОЙ

Мамонтов М.С.- студент

Околович Г.А. д.т.н. профессор

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Процесс деформирования стали с мартенситной структурой, или марфформинг, резко повышает пределы прочности и особенно текучести стали, при этом сохраняется пластичность, отмечается и повышенное сопротивление хрупкому разрушению.

Таким образом, в результате марфформинга повышается комплекс прочностных свойств и поэтому указанный процесс можно применять для обработки ответственных деталей.

Как следует из многочисленных экспериментальных исследований исключая диффузию атомов углерода и других примесей в процессе закалки и последующих испытаний, ”свежий“ мартенсит закаленной стали отличается весьма низким сопротивлением малым пластическим деформациям.

Если во время закалки успевают пройти процессы диффузионного перераспределения атомов углерода, приводящие к образованию сегрегаций и даже частиц карбидов, то и тогда сопротивление малым пластическим деформациям, хотя и возрастает, но остается на достаточно низком уровне. Эта особенность свойств свежезакаленной стали связана с тем, что системы дислокаций, возникшие при мартенситном превращении и создающие сильные поля макро и микронапряжений, слабо закреплены, а потому неустойчивы и могут перестраиваться – самопроизвольно еще до распада мартенсита в результате релаксации внутренних напряжений под воздействием даже весьма небольших внешних усилий.

Литература

1. McEvelly A.J., Cu R.C., Johnston T.L. Trang. AJNE, 1966, т. 236, №1, p. 108

1. Кидин И.Н., Штремель М. А., Андреев Ю.Г. Известия вузов, ядерная металлургия, 1969, №5, с. 130.

ИСКУССТВО ФОТОГРАФИИ ИЛИ ТВОРЧЕСКАЯ ФОТОГРАФИЯ  
Околович А.Г.- студентка , Околович Г.А. д.т.н. профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Сто пятьдесят лет - возраст, без сомнения солидный, но в сравнении с более чем двухтысячелетней историей театра, поэзии или живописи он отнюдь не велик. Несмотря на прожитые полтора века, фотография по-прежнему молода.

На протяжении всей своей жизни она упорно и кропотливо трудилась: показывала людям события, происходившие далеко от них; сохраняла, удерживала на светочувствительной пленке облик тех, кого неумолимый бег времени уносил в прошлое, в небытие. Неприметная, черновая работа досталась фотографии потому, потому, что она оказалась немисливо правдива. Еще в прошлом веке, вскоре после ее изобретения, съемочную камеру называли "Зеркалом с памятью", ибо никакое другое изобразительное средство столь скрупулезно и точно не воспроизводило видимый мир.

Фотографию ценили за правдивость, но вместе с тем не спешили причислить к сонму искусств. Живописцы, например, изображали скачущую лошадь так, что ни одна из четырех ног не касалась земли. Фотография удивительно показала, что подобным образом лошадь никогда не скачет. На фотографию обижались, упрекали, что она бестактно посягает на право художника претворять реальность по законам воображения. Считалось, что без такого претворения искусство состояться не может, а потому фотографию отлучали от Олимпа.

Искусство, однако, не сводится к одной фантазии; цель его устремлений - правда о действительности. Добытое по крупицам подлинное знание фотография выражает на языке самой реальности - через видимые предметы и явления, через пространственные структуры. Тем же языком пользуются и традиционные изобразительные искусства.

Фотография во многом от них отлична, однако с живописью и графикой ее роднит общность "предметного" языка, на котором все они "говорят", т.е. между ними больше сходства, чем различий.

Чтобы сделать хорошую фотографию, надо знать, из каких элементов она строится. То, что в первую очередь видит зритель – это ракурс и план. Ракурс - одна из основ формы, композиции фотографии. Под каким углом мы увидим предмет? На какой фон он станет проецироваться? Как изменятся соотношения его сторон в зависимости от расстояния до объекта и выбранного Объектива? Совершенно различный характер будет нести изображение одного и того же здания, снятого широкоугольным объективом или телевиком. Не упускайте возможности уже при выборе ракурса открыть новую точку зрения (в буквальном смысле) на предмет и уже самой этой точкой привлечь будущего зрителя. Здесь не следует опасаться перебора слишком острых ракурсов. Поначалу это послужит неплохой школой ориентирования в пространстве и позволит более маневренно управлять изобразительной плоскостью фотографии.

Еще одна привычка, с которой рождается почти каждый фотолюбитель - это чрезмерная тяга к общим планам, к описательности. Восхитившись красотой лужайки, вовсе не обязательно снимать ее целиком в расчете на то, что зритель, увидев ее полностью, самое интересное выделит для себя сам. Уж если автор поленился отыскать и выделить суть, зерно в своей снимке, то не приходится рассчитывать, что этим займётся зритель. Самое скучное и отталкивающее в фотографии - это дотошная описательность, лишенная авторского отношения, авторской мысли.

Для создания более динамичной и насыщенной композиции иногда приходится идти на искусственные приемы, как, например, поворачивать камеру под некоторым углом, превращая монотонные и скучные горизонтальные или вертикальные линии сюжета в стремительные диагонали на снимке. Когда уже выбран ракурс, стоит подумать, достаточно ли интересен и насыщен кадр, все действия в котором разворачиваются в одной плоскости? Может быть введенный в изображение передний план добавит снимку глубины, поможет пересмотреть композицию снимка?

Свет и тональность. Фотография - искусство светотени. К сожалению, мы часто упускаем это из виду, отводя свету очень узкую роль: лишь бы все было освещено и хорошо видно. И фотолюбитель нередко вспоминает о своем фотоаппарате только в солнечные, летние дни. Снимать днем на воздухе, конечно проще, чем в помещении или на сверкающих огнями городских улицах. Но какие возможности в отношении световых решений упускает фотограф?

От того, как выбрано освещение, во многих случаях зависит и общее светотеневое решение фотографии - ее тональность, т.е. световое настроение фотографии.

Движение в фотографии. Точнее возможность его передачи - смазка, подвижка и прочие фокусы. Да, именно фокусами долгое время в фотографии считалось все то, что передавалось на снимке нечетко, смазано. Все это приравнивалось к техническому браку. Человеческий глаз, мол, так в натуре не видит. Но человеческий глаз способен на мгновение вырвать фигуру бегуна, оставив вне внимания фон, детали обстановки. Таково психологическое восприятие обстановки. И фотографам пришлось согласиться с таким восприятием и научиться его передавать. И все "фокусы" и "выкрутасы" заняли свое законное место, еще более расширив изобразительные возможности фотографии.

Свет, ракурс, движение - во всем этом необходим поиск самого оптимального решения.

Конечно, на практике не всегда есть возможность спокойно и обстоятельно проанализировать обстановку и выбрать лучшие варианты решений. Часто на размышление не бывает секунды. И тут уж главное - успеть сделать кадр. Острота схваченного момента может быть столь значительной, что с лихвой покроет все остальные погрешности снимка. Недаром же считают, что главное в профессии репортера - это суметь в нужный момент оказаться в нужной точке. Но даже и в этой обстановке репортер не позволит себе сделать рыхлый снимок, постарается светом или другой мерой насытить, формально уплотнить снимок, принимая решение чисто интуитивно.

Встречаясь с признанными шедеврами фотографии, мы замечаем, что все они просты и незатейливы, и единственное, что их отличает от наших первых работ, - это глубина содержания, драматизм, остросоужетность. Не часто мы сумеем разглядеть в этих фотографиях ракурс или свет как таковые, или другие технические и творческие приемы автора. Они надежно упрятаны в организм снимка и не имеют самодовлеющего значения. Скорее напротив, когда эти стороны чрезмерно заявляют о себе, ощущается в фотографии некоторая нарочитость, что понижает работу мастера.

Чем и хороша всегда фотография, это своей неповторимостью. Если снимок не составляет большого труда повторить, продублировать, значит снимку не хватает остроты, своеобразия. Лучшие кадры независимо от того, как они возникли, всегда единственны. На пленке никогда не находится равноценного дубля. У разных фотографов, в один и тот же момент снимающих одно и то же событие, не бывает одинаковых снимков, как по решению кадра, так и по воздействию на зрителя. Лишь чуть-чуть может отличаться одна фотография от другой, но это "чуть-чуть" и делает погоду. Один момент не может быть полностью похож на другой.

Нельзя, увидев что-нибудь привлекшее внимание, откладывать съемку до другого раза, даже если речь идет о пейзаже. В другой раз даже при таком же солнце может не быть таких же облаков, а значит, и характер освещения будет не таков. В другой раз может исчезнуть легкий ветерок, измениться само ваше восприятие. То, что сегодня вызвало у нас интерес, вдохновило, на завтра может показаться скучным. Исчезнет почти неуловимое то, что вчера еще вызывало у нас наше волнение.

И уж тем более все это важно, когда дело касается съемки людей, их характеров. Здесь каждый момент неповторим и единственен. Даже когда кажется, что следующий момент может быть острее, не следует упускать возможности зафиксировать предыдущий. Право пленка не стоит того, чтобы ее слишком жалеть. В конечном итоге никого не интересует, каких трудов и каких расходов стоил создателю его снимок, единичный ли это кадр или результат большого отбора и поиска. Главное - ценность самого снимка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И.Михалкович, В.Г.Стигнеев. Поэтика фотографии. М., Искусство, 1989.
2. А.А.ФОМИН. Светопись. Н.И.Свищева-Баола. М., Искусство, 1964.
3. Г.В.Копосов, Л.н.Шерстенников. В фокусе -фоторепортер. М., Молодая гвардия.1967.

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Ходаков П.А.- студент, Околович Г.А. д.т.н. профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Материаловедение, получившее свое первоначальное развитие на эмпирической основе, в настоящее время сформировалась как комплексная наука, базирующаяся на физикохимии, кристаллохимии и металловедении. Для дальнейшего развития материаловедения необходим общий методологический подход, который объединял бы научные направления с технологией получения на всех его стадиях – от выплавки до готового изделия. Это требует дальнейшего углубления знаний о механизмах явлений, происходящих в материале под нагрузкой для установления связей между структурой и свойствами. Хотя такая задача поставлена уже давно, теория этого вопроса до сих пор не создана.

До настоящего времени основные усилия исследователей были направлены на установления связи между исходной микроструктурой и свойствами, однако, как сейчас установлено, сопротивление разрушению металлов и сплавов определяется динамической структурой, формирующейся в процессе деформации, что требует анализа деформируемого материала как открытой системы, обменивающейся энергией и веществом с окружающей средой. В ходе эволюции системы старая структура разрушается и возникает новая, определяющая сопротивление материала на новом этапе эволюции. В данном случае необходима постановка исследований кооперативного взаимодействия статической (исходной) и динамической (формирующейся под нагрузкой) структур.

В открытых равновесных системах термодинамическое равновесие обеспечивается за счет нарушения упорядоченности.

Возникающая внешне проявляемая упорядоченность в виде зерен, фаз и других структурных образований не является физическим признаком порядка из-за необеспеченности однородности химического состава и структуры сплава на различных масштабных уровнях. Следствием этого является отсутствие необходимой стабильности физико-механических свойств сплавов. Эта хронически заложенная неоднородность, с одной стороны, является основным препятствием на пути уменьшения разброса физико-механических свойств сплавов даже при обеспечении близкого химического состава, а с другой стороны, не позволяет реализовать резервы прочности металлических материалов.

Создание материалов со стабильными физико-механическими свойствами требует разработки новых технологий, базирующихся на подходах синергетики, являющейся теорией самоорганизующихся диссипативных структур, и теории фракталов, получившей в физике развитие в последние годы.

Усталостное разрушение является уникальным примером реализации универсального иерархического перехода от одного масштабного уровня пластической деформации к другому, протекающему замедленно в силу постепенной накачки энергии в систему. Эволюция дислокационной структуры при циклическом деформировании увязана с периодами и стадиями циклической пластической деформации и условиями накопления локализованной микродеформации в приповерхностных слоях металла. В развитии усталостного разрушения, как и при других видах разрушения, важное значение имеет иерархия структурных уровней деформации. В. Е. Паниным и Т. Ф. Елусковой отмечен конвективный характер пластического течения, в котором отдельные структурные элементы движутся как целое по схеме трансляция + поворот. Повороты зерен обуславливают возникновение трещин по границам зерен на ранней стадии усталости. Поскольку распространение пластического сдвига как локального структурного превращения происходит предпочтительно в плотноупакованных плоскостях, то

это приводит к анизотропии деформации. Стремление системы включать конвективное течение как наиболее эффективный канал релаксации приводит к формированию в ходе деформации функциональных диссипативных структур (ячеистые, фрагментированные и т. п.) следствием этого является вовлечение в процессе деформирования всей иерархии структуры, вихревых потоков точечных дефектов недеструкционной природы и др.

При традиционном описании процесса пластической деформации исходят из того, что существующие в кристаллах системы скольжения позволяют обеспечить его формоизменение без разрушения сплошности. В.Е. Паниным и др. было доказано, что пластическое течение.

## КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Павлова Г.В.-студентка, Околович Г.А. д.т.н. профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

– комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную и длительную работу материала в условиях эксплуатации.

Технологические требования (технологичность материала) направлены на обеспечение наименьшей трудоемкости изготовления деталей и конструкций.

Экономические требования сводятся к тому, чтобы материал имел невысокую стоимость и был доступным. Стали и сплавы по возможности должны содержать минимальное количество легирующих элементов. Легирование должно быть обосновано повышением эксплуатационных свойств.

Критерии прочности материала выбирают в зависимости от условий его работы. При статических нагрузках критериями прочности являются временное сопротивление  $\sigma_b$  и предел текучести  $\sigma_{0,2}(\sigma_T)$ , характеризующие сопротивление материала пластической деформации. Поскольку при работе большинства деталей пластическая деформация недопустима, то их несущую способность, как правило, определяют по пределу текучести.

Характеристики  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$  используются также для оценки прочности деталей при кратковременных циклических нагрузках и при малом числе циклов ( $10^3$ ).

Для предупреждения хрупкого разрушения конструкционные материалы должны обладать достаточной пластичностью ( $\delta$ ,  $\psi$ ) и ударной вязкости (КСУ). Необходимо также учитывать то, что в условиях эксплуатации действуют факторы, дополнительно снижающие их пластичность, вязкость увеличивающие опасность хрупкого разрушения. Это концентраторы напряжений (надрезы), динамические нагрузки, увеличение размеров деталей (масштабный фактор), понижение температуры.

Очагами нагружения высокопрочных материалов служат небольшие трещины эксплуатационного или технологического происхождения (могут возникать при термической обработке), а также трещиноподобные дефекты (неметаллические включения, карбиды, скопление дислокаций и т.п.).

Работоспособность инструмента в условиях эксплуатации характеризуют следующие критерии прочности:

- 1)  $\sigma_{изг}$ ;  $\sigma_{0,2}$ ;  $\sigma_{0,02}$ ; КС;  $\sigma_{-1}$ , которые определяют допустимые рабочие напряжения;
- 2) циклическая долговечность (малоцикловая усталость), износостойкость – определяет долговечность инструмента.

Рациональное легирование предусматривает введение в сталь и сплавы не скольких элементов при невысокой концентрации каждого с тем, чтобы повысить пластичность и вязкость, т.к. упрочнение при легировании растет пропорционально концентрации легирующего элемента в твердом растворе и относительной разницы атомных радиусов компонентов.

Изменение зерна осуществляется легированием и термической обработкой.

Для повышения легирующей прочности и износостойкости важно затруднить деформацию поверхности инструмента. Это достигается технологическими методами

поверхностного упрочнения при химико-термической обработке: азотирование, осаждение нитридов титана и др.

Долговечность определяется временем зарождения трещины ( $\sigma_{изг}$ ,  $\sigma_{0,2}$ ), а ударная вязкость характеризует распространение трещины.

## ОДИНАРНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ.

Панюшкин С.А. – студент, Кураков Д.В.- аспирант,

Околович Г.А. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Одинарная термическая обработка заключается в том, что сталь выше  $A_3$  охлаждается с более высокой скоростью, чем при нормализации. При этом охлаждающий слой является сжатый воздух, который обеспечивает скорость охлаждения большую, чем при нормализации (на спокойном воздухе) и получение структуры тонкопластинчатого перлита с минимальными выделениями избыточного феррита. При этом достигаются механические свойства выше, чем после нормализации.

Несмотря на простоту обработки технология не нашла широкого применения из-за нестабильности получаемых механических свойств в связи с нестабильной средой охлаждения.

Другая причина, по которой этот процесс, энергосберегающий уже по определению, не нашел распространения, - это чрезвычайно дешевой энергоносителей – 0,5 коп за 1 кВт/ч (до 1991г.).

Поэтому в качестве стабильной охлаждающей среды предлагается кипящий слой мелкозернистого материала. Что позволяет получить стабильные механические свойства у деталей из углеродистых и низкоуглеродистых сталей (60,65, 40X, 38XC). Кроме того, возможно проведение термической обработки в заготовках с тепла нагрева под штамповку.

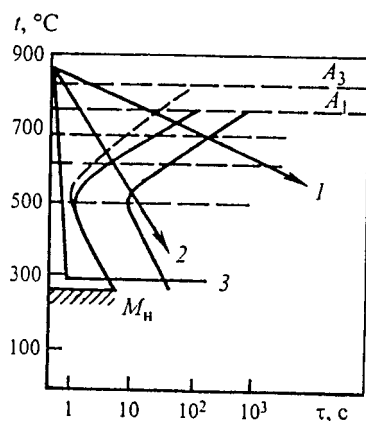


Рис. 1 Схема диаграммы изотермического превращения аустенита стали 60 С нанесенными на нее векторами скоростей охлаждения при осуществлении: 1 – нормализации (охлаждение на воздухе); 2 - одинарной обработки (охлаждение в кипящем слое; 3 – изотермической закалки (охлаждение в жидких средах, расплавах)

Скорость охлаждения изделий возрастает при снижении температуры охлаждающего слоя (рис.1) зависимости от марки стали и сечения (массы) охлаждаемых изделий для получения заданных механических свойств, обеспечиваемых образованием сорбитно-структурной структуры, используется как обогреваемый кипящий слой, Так и « холодный». При этом скорость охлаждения в «холодном» кипящем слое во всем интервале ниже  $100^{\circ}\text{C}$  практически не меняется, а разогрев выше  $100^{\circ}\text{C}$  (за счет внесения тепла охлаждаемых изделий можно избежать, оборудовав охлаждаемый бак змеевиками с проточной водой или впрыскиванием дискретных порций воды.



Кроме того, при охлаждении изделий в кипящем слое стирается строгая граница между одинарным охлаждением и изотермической закалкой. Изотермическая закалка характеризуется охлаждением в жидких средах-расплавах, а одинарную обработку можно рассматривать как ускоренную нормализацию.

В кипящем слое это различие исчезает, так как изменяя температуру слоя можно получить структуры (свойства аналогичные изотермической закалке( рис.2).

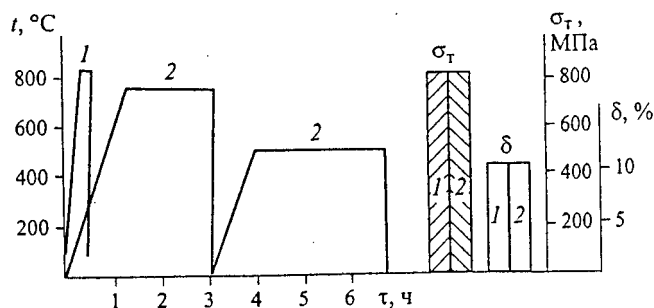


Рис.2 режим термической обработки детали типа «стакан» из стали 60: 1 – одинарная обработка (кипящий слой); 2 - улучшение

На машиностроительных предприятиях нашего края выполняют множество деталей штамповкой и ковкой, с охлаждением на воздухе. После чего следует термическая обработка: отжиг, нормализация, закалка и высокий отпуск, который вполне можно заменить одинарной обработкой в кипящем слое. Одной из которых является ответственная деталь для сцепки вагонов «клин хомута», изготавливаемая на заводе «Алтайвагон».

#### Химический состав Стали 38ХС

Таблица 1.

С	Si	Мн	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	Мн	тн
0,41	1.36	0.50	1.41	—	755	810	320	900
0,42	1.01	0.38	1.50	0.25	740	795	315	910

Формирование благоприятной структуры стали 38ХС и обеспечение надежности изделия способствует измельчению зерна. Измельчение зерна осуществляется легированием и термической обработкой, особенно при использовании высокоскоростного нагрева - индукционного.

Наиболее эффективное измельчение субструктуры достигается при высокотемпературной термомеханической обработке (ВТМО). Она предусматривает интенсивную пластическую деформацию аустенита с последующей закалкой и отпуском.

В результате ВТМО обеспечивается наиболее благоприятное сочетание высокой прочности с повышенной пластичностью, вязкостью и сопротивлением разрушения.

Степень горячей деформации при ВТМО не должна быть слишком большой, иначе развивается рекристаллизация, снижающая упрочнение. Применение дробной деформации с суммарным обжатием, равным большому обжатию за один проход, облегчает деформирование и способствует развитию динамической полигонизации.

Структура, созданная при горячей деформации аустенита, один раз наследовалась при  $\gamma \rightarrow \alpha$ - превращениях во время ВТМО, в определенной мере сохранялась при высоком отпуске и еще дважды наследовалась во время перезакалки при  $\alpha \rightarrow \gamma$  и  $\gamma \rightarrow \alpha$  - превращениях. «Передачу» дислокаций от  $\alpha$  к  $\gamma$  - фазе легко представить, если принять сдвиговой механизм  $\alpha \rightarrow \gamma$  - превращения. Короткая выдержка при повторной закалке предотвращает развитие рекристаллизации аустенита, которая уничтожила бы полигонизованную структуру и упрочнение от предшествующей ВТМО.

С помощью ВТМО можно резко ослабить обратимую и необратимую отпускную хрупкость .

## Выводы

При повторной термической обработке наблюдается явление наследования упрочнения от ВТМО, если сталь перезакалить с кратковременной выдержкой при температуре нагрева под закалку или вначале подвергнуть высокому отпуску, а затем перезакалить

Основная цель термообработки с деформационного ковочного нагрева – исключить специальный нагрев под закалку и благодаря этому получить экономический эффект.

Главная же цель ВТМО – повышение механических свойств стали, т.к. нестабильность механических свойств сталей определяется исходной структурой послековки в зависимости от температурного интервалаковки, степени деформации и скорости охлаждения.

## Литература

1. Е.М.Файншмидт Одинарная обработка в кипящем слое. «металловедение и термическая обработка металлов». №9, 2004, с. 39-42.

## ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ МЕТАЛЛОВ.

Арно А.Я. -студентка, Околович Г.А. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В основе упрочнения металла при деформировании лежит, прежде всего, повышение плотности дислокаций до  $10^{12} \text{ см}^{-2}$  и ограничение их подвижности. Движению дислокаций мешают различные препятствия – границы зерен, дефекты упаковки, межфазные поверхности, дислокации, пересекающие плоскость скольжения.

При значительной деформации в металле появляется кристаллографическая ориентация зерен, которая называется текстурой деформации (выделить). При волочении возникают так называемые аксиальные текстуры, когда определенное кристаллографическое направление оказывается параллельным оси проволоки для большинства зёрен. Текстура деформации делает металл анизотропным.

Процесс деформирования в двухфазных сплавах зависит не только от свойств второй фазы и ее содержания в сплаве, но и от характера распределения этой фазы в структуре. Если хрупкая вторая фаза расположена в виде непрерывной сетки по границам зерен, то сплав окажется хрупким («цементитная сетка» в инструментальных сталях), то сплав окажется хрупким. Если такое же количество второй фазы разместится в виде отдельных зерен в пластической матрице – основе сплава, то сплав сохранит пластичность, а присутствие второй фазы проявится в упрочнении («дисперсионное твердение» в легированных инструментальных сталях 6Х4М2ФС, быстрорежущих – Р6М5 и др. при выделении сложных карбидов  $M_{23}C_6$ ,  $W_6C$ ,  $VC$ ).

При деформировании увеличиваются прочностные характеристики (НВ;  $\sigma_v$ ;  $\sigma_{0,2}$ ;  $\sigma_{упр.}$ ) и понижаются пластичность и ударная вязкость ( $\delta, \psi, KCU$ ). Металлы интенсивно наклепываются в начальной стадии деформирования. С увеличением степени деформации предел текучести растет быстрее временного сопротивления. Обе характеристики металлов сравниваются, а удлинение становится равным нулю. Такое состояние является предельным; при попытке продолжить деформирование металл разрушается. Путем наклепа твердость и временное сопротивление удается повысить в 1,5-3 раза, а предел текучести в 3-7 раз. Сжимающие напряжения в поверхностном слое замедляют зарождение усталостной трещины и тем самым увеличивают долговечность деталей.

## Литература:

1. Б.Н. Арзамасов. Металловедение. М: Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2003, 646с.

## ПОЛИГОНИЗАЦИЯ

Игонькин А.Ю.-студент, Околович Г.А. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В 1949 г. английский металлофизик Р. Кан обнаружил, что изогнутый монокристалл цинка при отжиге разбивается на блоки, причем криволинейная ось изогнутого кристалла разбивается на отрезки, являющиеся сторонами многоугольников. Это явление было названо полигонизация (polygon—многоугольник).

Теория дислокации позволила объяснить механизм полигонизации. Остаточный изгиб кристалла связан с избытком краевых дислокаций одного знака (рис. 1, а) соответствующие им неполные вертикальные атомные плоскости, выходящие на верхнюю грань кристалла, действующие как клинья, изгибающие кристалл. При отжиге дислокации

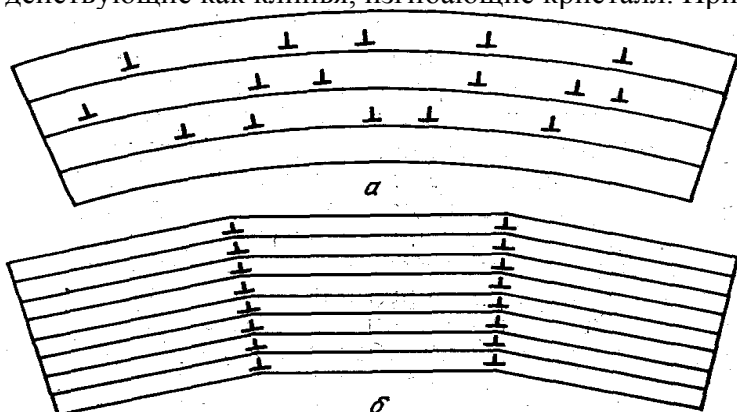


Рис. 1. Схема полигонизации: а — хаотичное распределение краевых дислокаций в изогнутом кристалле; б — стенки из дислокаций после полигонизации

одного знака перераспределяются и выстраиваются одна над другой в стенки (рис. 1, б). При этом под область разрежения от одной дислокации оказывается область

сгущения от другой дислокации и поля упругих напряжений дислокации в значительной мере взаимно компенсируются. Стенка из дислокации не имеет дальнедействующие поля напряжений. Следовательно, образование дислокационных стенок — энергетически выгодный процесс, который должен идти самопроизвольно, однако для развития необходима термическая активация.

Дислокационные стенки в изогнутом кристалле образуются в результате сочетания процессов скольжения и дислокации. Из простого сопоставления Рис. 1, а и б видно, что только скольжением в горизонтальных плоскостях дислокации не могут установиться одна над другой в виде вертикальной стенки. Для этого необходимо перемещение, а оно состоит в достраивании или растворении кромок неполных атомных плоскостей и обеспечивается медленным диффузионным процессом. Скорость перемещения — наиболее медленного процесса — определяет скорость выстраивания дислокаций в стенки. Стенка из дислокации одного знака является малоугловой границей, разделяющей соседние субзерна с небольшой разориентировкой решеток. Таким образом, при возврате субзерна возникают вследствие выстраивания дислокаций в стенки — малоугловые границы. Нагрев здесь необходим, чтобы активировать перемещение большого числа дислокаций. Температура отжига для полигонизации должна быть выше, чем только для отжига.

Простые границы наклона, состоящие из одних краевых дислокаций, и соответствующие им субзерна в виде параллельных пластинок, проходящих через весь кристалл, наблюдаются обычно только при отжиге после деформации когда действует одна система скольжения. В поликристаллических металлах при средней и большой пластической деформации всегда скольжение идет по разным системам. Поэтому в них при отжиге образуются субзерненные границы, состоящие из смешанных дислокаций. Такие границы образуются в результате простого и поперечного скольжения и перемещения дислокаций.

Так как полигонизация состоит в постепенном формировании субзерен путем образования дислокационных стенок из отдельных дислокаций и в росте субзерен или же (при ячеистой структуре в деформированном металле) в развитии имеющихся ячеек и постепенном превращении их в субзерна, то температура начала полигонизации не является четко определенной физической константой, такой, например, как точка плавления.

Важнейшая характеристика металла—энергия дефектов упаковки—сильно влияет на склонность к полигонизации. Чем меньше энергия дефектов упаковки, тем больше ширина растянутых дислокаций и труднее проходят процессы переползания и поперечного скольжения, необходимые для полигонизации. Поэтому в алюминии, имеющем высокую энергию дефектов упаковки и, следовательно, слабо расщепленные дислокации, полигонизация идет сравнительно легко. В меди она протекает труднее, а в  $\alpha$ -латуни с низкой энергией дефектов упаковки полигонизация обычно не наблюдается.

Атомы примесей тормозят полигонизацию из-за образования атмосфер Коттрелла, затрудняющих перераспределение дислокаций скольжением и переползанием. При одинаковой температуре отжига более чистый металл полигонизуется за более короткое время.

## ПОРШНЕВЫЕ КОЛЬЦА ДВС

Смирнова В.И.-студентка, Околович А.Г. – аспирант, Гурьев А.М.- д.т.н. профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Во всем мире производители двигателей внутреннего сгорания постоянно ведут поиск новейших технологий в изготовлении деталей цилиндра- поршневой группы. Одно из направлений – это поршневые кольца из стального проката, вместо традиционных колец из чугуна, обладают уникальными свойствами:

- высокая механическая прочность за счет оптимального профильного деформационного упрочнения с последующей полигонизацией дислокационной структуры;

- более гибкая технология позволяет получать кольца различного профиля, что решает многие конструкторские задачи;

- улучшение рабочих свойств поршневых колец, повышение их надежности и долговечности достигается применением различных покрытий. Используются также специальные противозадирные, приработочные, антикоррозионные и другие покрытия;

- маслоъемное кольцо из стального проката с перфорированными пазами обеспечивает высокую радиальную податливость (момент инерции сечения кольца из проката в 3 – 5 раз меньше, чем у колец из высокопрочного легированного чугуна) за счет уменьшения толщины и ширины рабочих поясков, что позволяет существенно снизить удельный расход масла (до 0,2 % от расхода топлива).

Тепловая нагрузка и механические сотрясения вызывают изменение размера замка и пропорциональное снижение упругости;

Этому соответствует еще снижение упругости, вызываемое износом кольца по рабочей поверхности; радиальное давление, пропорциональное кубу толщины кольца с уменьшением последней чрезвычайно быстро снижается:

так, например, уменьшение радиальной толщины кольца с 3 до 2,9 мм уже дает снижение упругости на 10 %.

Исключение представляют только кольца, которым упругость была придана с помощью наклепа внутренней их поверхности в холодном состоянии.

Наша технология базируется на оборудовании, позволяющем методом волочения – прокатки получать все виды профилей для производства колец современных ДВС. Термические процессы, упрочнение рабочих поверхностей различными способами (карбонитрирование, ионно-плазменное напыление, ионная имплантация - поверхностная

пластическая деформация, обработка в электролитной плазме) обеспечивает производство качественных колец в соответствии с требованиями ДИН (европейская классификация) и основных требований ЕВРС) - 3.

Механическая обработка колец с минимальным припуском выполняется на отечественном металлорежущем оборудовании с применением высокоточной оснастки, разработанной учеными и специалистами городов Москва, Одесса, Магнитогорск, Барнаул (АлтГТУ).

Разработанная нами технология позволяет выпускать поршневые кольца для дизелей, бензиновых ДВС- компрессоров и др. установок в диапазоне  $\varnothing 60-180$  мм. Достигается повышение работоспособности цилиндропоршневой группы в 1,5 -2 раза по сравнению с чугунными кольцами.

Возможно значительное повышение моторесурса дизелей, используемых в сельхозмашиностроении, и также использование колец в других отраслях промышленного производства.

Для изготовления маслосъемных поршневых колец нами выбрана нержавеющая сталь 20Х13 (ГОСТ 5632-72). Сталь относится к мартенситному классу, обладает стойкостью против коррозии в атмосферных условиях, в слабых растворах кислот, солей и в других слабоагрессивных средах. Применяют для изделий, работающих на износ в качестве упругих элементов.

## СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ СТАЛЕЙ

Непомнящих П.Н.- студент,

Околович Г.А. д.т.н. профессор

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Эффект сверхпластичности при мартенситном превращении в сплавах железа сопровождается повышенной деформируемостью. Поскольку превращение аустенит-мартенсит имеет сдвиговый характер, его можно рассматривать как один из механизмов пластической деформации. [1, с. 219-230]

На сложнолегированных инструментальных сталях Хг и Х12Ф1 обнаружено увеличение деформации прогибом в случае охлаждения образцов ниже точки  $M_s$ , а так же известный в термической обработке метод правки изделий непосредственно в момент закалки.

Однако, если аномальная пластичность обусловлена мартенситным превращением, оно само по себе не является основным механизмом пластического течения. Максимальное удлинение наблюдается лишь в том случае, когда образованию мартенсита предшествует значительная пластическая деформация исходной фазы

Идея применения мартенситного превращения в качестве механизма релаксации напряжений в высокопрочных сталях была впервые реализована Закеем и Паркером.

При исследовании процессов, происходящих при термомеханической обработке сталей, было обнаружено, что в углеродосодержащих легированных сталях в процессе теплой прокатки ниже температуры рекристаллизации могут выделяться карбиды. Выделение легированных карбидов приводит к обеднению твердого раствора легирующими элементами и соответственно к сдвигу точек  $M_s$  и  $M_d$  в область более высоких температур. Высокая прочность сталей, подвергнутых ТМО обеспечивается двумя основными причинами: высокой плотностью дислокаций, закрепленных карбидными выделениями и последующим мартенситным превращением в ходе нагружения.

Таким образом, сверхпластичность является результатом совместного действия различных механизмов пластической деформации—скольжение, двойникование и мартенситного превращения.

Литература

1. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов. М. – “Металлургия”, 1975, с.1975, с. 211-236).
2. [Zackay V.F., Parker E.R., Fahr D.D., Busch R.-“Trans. ASM”, 1967, v.60, №1, p. 252-258].

## КОВКА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА

Сизова А.В -студентка

Околович Г.А. д.т.н. профессор

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Всесторонний обжим заготовки при горячей высадке резко повышает однородность структуры и механические свойства сталей, особенно в состоянии высокой твердости. Кованная по такой схеме сталь имеет также лучшие технологические свойства в процессе изготовления инструмента. В частности, деформация при закалке инструментов значительно меньше, чем у инструментов не промышленного проката.

Практика эксплуатации штамповых инструментов при холодном объемном прессовании показала, что использование заготовок после всестороннейковки значительно увеличивает стойкость инструмента. Резко снижается число выходов инструментов из строя по причине скалывания и поломок в направлении карбидной полосчатости. Наиболее эффективно влияние предварительной поковки на стойкость инструментов, работающих в условиях ударного нагружения стойкость его повышается в два- три раза.

Сложнолегированные инструментальные стали склонны к образованию термических трещин при охлаждении на воздухе послековки. Поэтому послековки их охлаждение замедленно в неотапливаемых колодцах или в ящиках с песком.

Температура металла при выгрузке из колодца не должна превышать температуру мартенситного превращения стали и обычно составляет 120°-150°С. После выгрузки не позднее, чем 24-48 часов подвергают отжигу. Назначение отжига перекристаллизация стали для измельчения зерна и получения низкой твердости, а так же структуры зернистого перлита, как наиболее удовлетворяющей последующей закалке. Наиболее целесообразно применять термический отжиг, включающий нагрев до температур несколько выше  $A_{с3}$ , выдержку после прогрева металла 2-3 часа, охлаждение с печью до 680°-720°С, выдержка 3-4 часа и охлаждение с печью до 600°С затем на воздухе.

Преимуществом изотермического отжига является получение более однородной структуры после последующей закалки, особенно для сложнолегированных инструментальных сталей с содержанием карбидной фазы.

Литература.

1 Околович Г.А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов. Изд-во Алт ГТУ, 2002-с.200.

## ВЫБОР МЕТОДОВ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА

Кошелева Е.А. – аспирант, Иванов С.Г. – к.т.н., Шишковская И.Л. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

При эксплуатации наибольшее воздействие в основном испытывают поверхностные слои материалов. Для деталей, работающих в условиях агрессивной среды, высоких температур,

различных силовых воздействий и т.д., применяют, как правило, высоколегированные стали, что усложняет технологические процессы изготовления и удорожает готовое изделие. В тоже время возможно замещение специальных сталей на менее легированные, и даже на углеродистые стали при условии нанесения на них специальных покрытий, повышающих работоспособность изделий в данных условиях. В последнем случае может быть достигнут больший ресурс работы деталей и узлов машин и механизмов, чем при изготовлении их из объемно-легированных специальных сталей. Также при этом упрощается процесс их изготовления и снижается себестоимость, а, следовательно, повышается конкурентоспособность, как изделия, так и технологии его производства в целом. При этом экономятся дорогостоящие легирующие элементы.

С этой точки зрения представляет интерес повышение стойкости деталей машин и инструмента методами химико-термической обработки (ХТО) за счет диффузионного насыщения поверхности металлов и сплавов различными химическими элементами.

Под ХТО понимают нагрев и выдержку материалов при высоких температурах в химически активных средах, в результате чего изменяются состав, структура и свойства поверхностных слоев материала.

Наиболее часто ХТО проводят с целью обогащения поверхностных слоев материала определенными элементами, однако в ряде случаев возможно также удаление из сплава тех или иных элементов (чаще всего вредных примесей, таких как кислород, водород и т.д.).

Наибольшее распространение в промышленности получили следующие способы ХТО: цементация, азотирование, нитроцементация (цианирование).

К перспективным (но менее распространенным) способам ХТО можно отнести следующие процессы: хромирование, борирование, титанирование, алитирование, силицирование и т.д., а также различные их комбинации (карбоборирование, борохромирование, боротитанирование, алюмосилицирование и т.п.).

Так, например, с помощью борирования возможно повышение износостойкости в 3–50 раз по сравнению с термообработкой и в 1,5 – 15 раз по сравнению с традиционными способами ХТО. Силицирование значительно повышает стойкость углеродистых сталей в растворах кислородсодержащих минеральных кислот, и несколько хуже – в растворах галогеноводородных кислот. Хромирование придает сталям высокие жаро- и коррозионную стойкость.

Методы повышения износостойкости сталей можно расположить по убыванию эффективности в следующем порядке:

Борирование → хромосилицирование → хромирование → бороалитирование → азотирование → цианирование и карбонитрирование → цементация.

По износостойкости расположение способов упрочнения будет несколько иным, но и здесь наиболее широко употребляемые азотирование, нитроцементация и цементация находятся на последнем месте.

Диффузионное насыщение поверхности сталей и сплавов чаще всего проводят при высокотемпературной изотермической или изотермически-ступенчатой выдержке с полной перекристаллизацией стали в аустенитное состояние. Это приводит к перегреву – структура и механические свойства, кроме твердости и износостойкости, ухудшаются. Недостатками процессов традиционной ХТО являются также их высокая энергоёмкость и продолжительность.

Указанные недостатки можно устранить при диффузионном насыщении поверхности сплава в режиме термоциклирования.

Сам принцип термоциклической обработки (ТЦО) заключается в том, что изделие подвергается многократным циклическим тепловым воздействиям, в результате чего коренным образом улучшается качество изделий, и придаются свойства, недостижимые при одноразовой термической обработке. При ТЦО возможны благоприятные изменения структуры и повышение таких критических для работоспособности параметров, как пластичность и ударная вязкость материала. ТЦО позволяет избежать обязательного для

высокотемпературных способов насыщения роста зерна сердцевин, повышает сцепляемость диффузионного слоя с подложкой и ударную стойкость.

Проводимые эксперименты показывают, что диффузионное насыщение поверхности сплава в режиме термоциклирования проходит более эффективно, чем при постоянной температуре насыщения. Т.е. естественным развитием ХТО является ее совмещение с термоциклической обработкой (ТЦО) в единую химико-термоциклическую обработку (ХТЦО). Метод ХТЦО является наиболее эффективным способом ускорения процесса насыщения и улучшения качества покрытия.

Положительным моментом ХТЦО является получение более равномерных по физико-химическим свойствам слоев, что означает большую их износостойкость. Так как меньшая их твердость компенсируется более высокой пластичностью, и, следовательно, большей устойчивостью к ударным нагрузкам.

Литературные данные показывают, что при борировании по режиму ХТЦО, толщина слоя может в разы превосходить толщину слоя, полученную в результате традиционной изотермической ХТО.

ХТЦО позволяет получить упрочнённый диффузионный слой необходимой толщины за более короткое время, а новые способы ТЦО и ХТЦО, позволяют реализовывать их на стандартном оборудовании любого термического участка. Использование ТЦО после ХТО в одном технологическом процессе исправляет перегрев (крупнозернистость) и другие дефекты структуры, получаемые обычно при высокотемпературной ХТО. Новые способы ТЦО и ХТЦО совмещены с закалкой в последнем цикле, последующий отпуск дает необходимую твердость, как «сердцевины», так и поверхности детали, т.е. формирует окончательные свойства изделия.

#### Литература:

1. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали. М.: Металлургия, 1978. - 239 с.
2. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. –Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989.–255 с.
3. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термоциклического борирования. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. – 216 с., ил.
4. Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М. // Изв. Вузов. Физика №11. - 2000.- Т.43.- С. 269 - 270.
5. Transition zone forming By different diffusion techniques in borating process of ferrite - pearlite steels Under the thermocyclic conditions A.M. Guriev, E.V. Kozlov, B.D. Lygdenov, A.M. Kirienko, E.V. Chernykh // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, №2.- 2004.- С.54 – 60.

#### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ НЕФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Королев А.А, Плаксин С.А, Панов С.Г. – студенты,

\*Дмитриев С.Ф. – к.т.н., Ишков А.В. – к.х.н., д.т.н.

\*Алтайский государственный университет (г. Барнаул),

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Известно [1,2], что структурные исследования физико-механических свойств металлов, сплавов и псевдосплавов могут осуществляться методом вихревых токов (МВТ). Основными требованиями в методе являются локализация зоны контроля, отстройка от зазора, чистота подготовки поверхности [3]. Для выполнения данных требований ранее нами разработаны локальные вихретоковые преобразователи (ВТП) и дефектоскопы [4], которые используются для диагностики структуры псевдосплавов применяемых, в частности, в электротехнике.

Использование современных способов и методов обработки информации позволяет существенно расширить возможности МВТ, а так же позволяет увеличить массив данных для



интерпретации результатов. Эти результаты достигаются при использовании ЭВМ и разработанного программного обеспечения. В тоже время одной из задач является сопряжение ВТП и ЭВМ через встроенные в нее АЦП-ЦАП (звуковые карты). Использование звуковой карты в качестве элемента измерительного тракта возможно, когда исследованы ее метрологические и электрические характеристики. Так же должна быть решена задача совместимости произвольной АЦП-ЦАП с разработанным программным обеспечением.

С этой целью нами был разработан программно-аппаратный комплекс для исследования электропроводности неферромагнитных материалов. Комплекс состоит из трех основных частей: вихретокового преобразователя (ВТП); звуковой карты персонального компьютера (ПК); программного обеспечения (ПО) (рис.1).

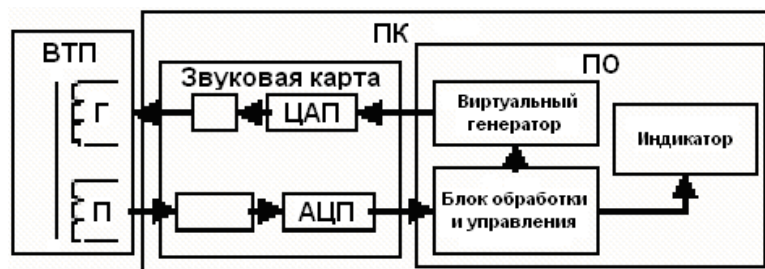


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки.

Цифровой сигнал от виртуального генератора поступает на ЦАП звуковой карты и преобразуется в аналоговый. Аналоговый сигнал, с выхода усилителя мощности (У) нагружен на генераторную катушку (Г) ВТП. Электромагнитное поле наводит ЭДС в приемной катушке (П) ВТП. ЭДС, усиленная микрофонным усилителем, поступает на вход АЦП звуковой карты. Оцифрованный сигнал поступает на блок обработки и управления ПО. Блок обработки и управления фиксирует уровень цифрового сигнала в условных единицах. Этот уровень принимается за уровень нуля, и соответствует уровню напряжения на сигнальной катушке без объекта контроля. На индикатор выводится ноль, который соответствует нулевому значению электропроводности.

Для расчета величины электрической проводимости необходимо установить соответствие между уровнем сигнала на сигнальной катушке и электропроводностью материала. Одним из вариантов установления этого соответствия служит аппаратная кривая, для построения которой был использован набор контрольных образцов имеющих заранее известную электропроводность. Удельная электрическая проводимость использованных образцов была определена при помощи двойного моста Уитстона при температуре  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  с погрешностью не более 1%.

Тестирование комплекса осуществлялось по сериям измерений электропроводности эталонных материалов. В процессе измерения изменялось число замеров электропроводности для каждого образца, и рассчитывалось среднее значение электропроводности по каждой группе измерений. Основная погрешность измерения, связанная с девиацией зазора и отклонением установки ВТП от нормального положения, закономерно снижается с ростом числа замеров и увеличением времени каждого замера. Абсолютное значение среднего взвешенного основной погрешности, полученное в серии опытов, не превысило 0,8 МСм/м.

Как известно, при конструировании программно-аппаратных комплексов существенной проблемой является совместимость ПО и нестандартизированных ЦАП-АЦП, которая связана с несовпадением характеристик аналоговых усилительных компонент. Столкнулись с ней и мы. Так, например, на рис. За представлена зависимость уровня напряжения на генераторной катушке от условных единиц виртуального генератора. Аналогичные различия обнаруживаются и для зависимости между условными единицами сигнала на выходе АЦП и уровнем напряжения на сигнальной катушке (рис. 2б).

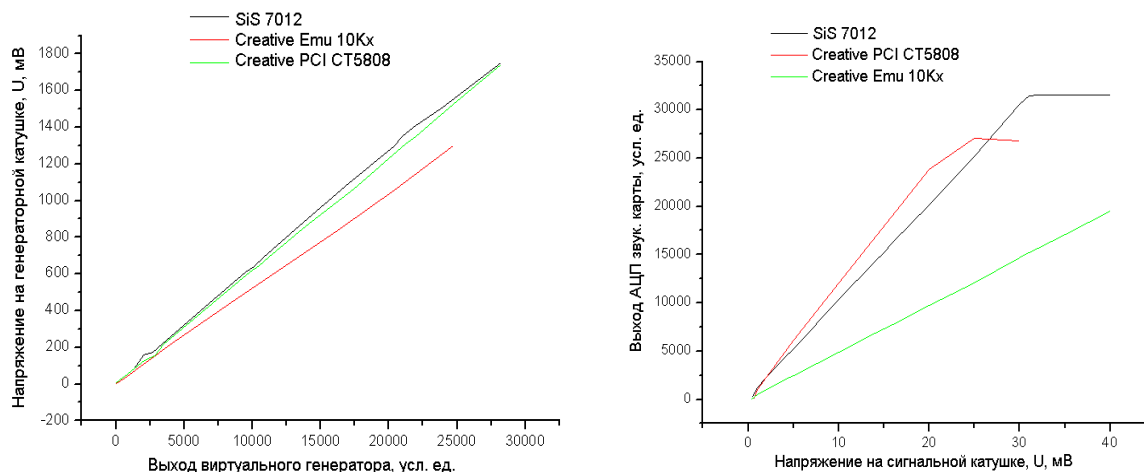


Рис. 2. Зависимости уровней сигналов различных ЦАП-АЦП и генераторной катушки ВТП.

Для решения проблемы совместимости ПО с ЦАП-АЦП может быть использована эталонная звуковая карта и зависимость между уровнем напряжения на сигнальной катушке и условными единицами сигнала на выходе ее АЦП, для которой определяется коэффициент наклона  $k$ . Затем проводится аппроксимация зависимости электропроводности образцов от сигнала АЦП карты полиномом третьей степени:

$$y = a(y - y_0)^3 + b(y - y_0)^2 + c(y - y_0) + d, \quad (1)$$

где  $y$  - значение электропроводности объекта контроля, МСм/м;  $y$  - условные единицы сигнала на выходе АЦП звуковой карты;  $y_0$  - условные единицы шумового сигнала на выходе АЦП звуковой карты;  $a, b, c$  и  $d$  - коэффициенты аппроксимации.

Для остальных звуковых карт также устанавливается соответствие между уровнем напряжения на сигнальной катушке и условными единицами сигнала на выходе АЦП, которые затем приводятся к показаниям эталона по формуле:

$$y_1 = \frac{k_1}{k_2} y_2, \quad (2)$$

где  $y_1$  - приведенное значение условных единиц эталонной карты;  $y_2$  - количество условных единиц текущей карты;  $k_1$  - коэффициент наклона для эталонной карты;  $k_2$  - коэффициент наклона для текущей карты.

Тогда, значение электрической проводимости, измеренное по уровню сигнала с любой произвольной звуковой карты, можно рассчитывать по следующей модифицированной формуле:

$$y = (a(y - y_0)^3 + b(y - y_0)^2 + c(y - y_0) + d) \times \frac{k_1}{k_2}. \quad (3)$$

Программное обеспечение для комплекса написано на языке C++ под операционную систему MS Windows 95/98/2000/XP и имеет интерактивный оконный интерфейс. В рабочем окне виртуального прибора ИЭНМ-20 (рис. 3) имеется индикатор амплитуды входного сигнала, где отображается значение амплитуды сигнала полученное в результате обработки каждого буфера и индикатор электропроводности, который отображает расчетное значение электропроводности. Дополнительно, на основе получаемых данных, осуществляется разделение металлов на ферромагнитные и неферромагнитные а также идентификация металла.

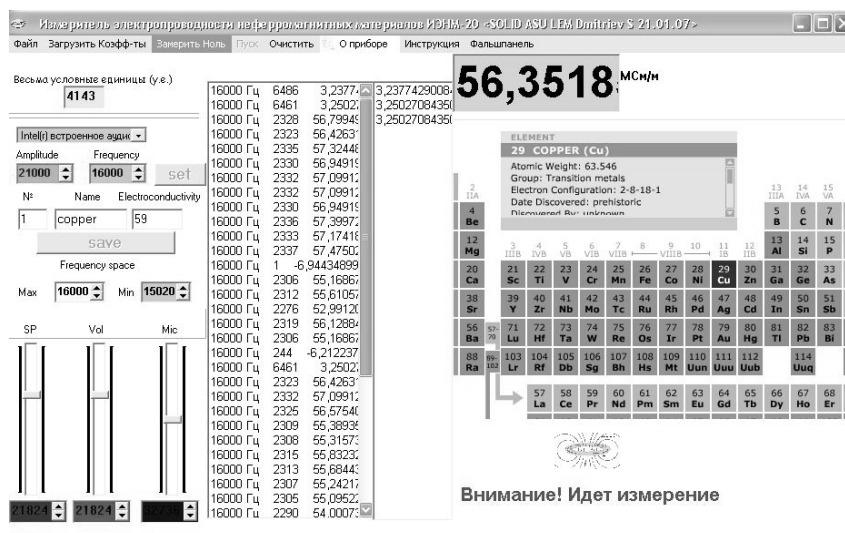


Рис. 3. Рабочая панель виртуального прибора ИЭНМ-10 с открытой панелью идентификации металла.

В ходе выполнения основного рабочего цикла работы программы происходит постоянное считывание уровня сигнала с выхода АЦП микрофонного входа звуковой карты, пересчет полученных условных значений в значения проводимости, отнесение исследуемого образца к классу ферро- или неферромагнетика и идентификация металла, и, если уровень сигнала достоверно превышает фоновый (4 Мс/м), результат измерения выводится на экран.

#### Литература

1. Приборы неразрушающего контроля материалов и изделий. Кн.2 / Под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1986.- 352 с.
2. Неразрушающий контроль металлов и изделий. / Под ред. Г.С. Самойловича. – М.: Машиностроение, 1976.-456 с.
3. Денискин В.П. и др. Некоторые конструкции вихревых накладных преобразователей. //Дефектоскопия, 1975. №1. С. 56-61.
4. Дмитриев С.Ф., Сагалаков А.М. // Тр. Второй Междунар. н.-т. конф. «Экспериментальные методы в физике структурно-неоднородных конденсированных сред. ЭМФ 2001» – Барнаул: Изд-во АГУ, 2001. -282 с.

### ВИРТУАЛИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ НАПРЯЖЕННОСТИ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИНПМП-5

Рябинин А.А., Маеренко А.А., Панов С.Г. – студенты,

\*Дмитриев С.Ф. – к.т.н., Ишков А.В. – к.х.н., д.т.н.

\*Алтайский государственный университет (г. Барнаул),

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Актуальным в исследовании предельно-допустимого уровня напряженности низкочастотного магнитного поля является измерение локальных значений. Существующие промышленные магнитометры отечественного производства: МФ 107А, МФ 207, ИМП 6, ПЗ-50, работают в широком диапазоне измерений напряженностей от 0,01 до 18000 А/м, но не обладают необходимой

локальностью. Существует также необходимость оперативно перестраивать режимы локальных магнитометров в соответствии с решаемыми задачами [1]. Поэтому целью данной работы является исследование индукционным методом локального значения напряженности низкочастотного магнитного поля в области допустимых значений при помощи разработанной экспериментальной установки.

Аппаратная часть измерителя состоит из индукционного преобразователя и звуковой карты. Электродвижущая сила как функция максимального магнитного потока и частоты поступает на микрофонный вход звуковой карты. Используемая в данной работе звуковая карта с параметрами: разрядность АЦП в 16 бит и частота дискретизации 44100 Гц, удовлетворяет выбранной точности измерения 3 %, в диапазоне значений напряженности низкочастотного магнитного поля от 1 до 260, А/м. Калибровка датчика проводилась по блок-схеме (рис. 1).

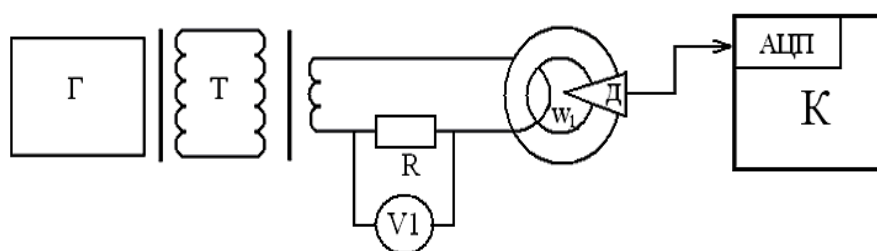


Рис. 1. Блок-схема калибровки датчика:

V1 - вольтметр VM70, R - активное сопротивление 0,05 Ом; трансформатор Т-228-2;

Г - генератор ГЗ-56/1; w1 – образец по ГОСТ 18334-73 из колец сплава 81НМА;

К – компьютер; АЦП – звуковая карта; Д – датчик.

Генератором задаются определенные значения тока, которые измеряются вольтметром V1 на известном сопротивлении R. Индукционный преобразователь помещается в центр намагничивающего витка. В результате программой записывается сигнал определенной амплитуды. Программа позволяет представить данный сигнал в виде массива чисел и вычислить максимальную амплитуду полученного сигнала. Амплитудное значение напряженности  $H_m$  рассчитывается в соответствии с методикой изложенной в [2]. Число витков на катушки равно 10, инструментальная погрешность составляет 2,5 %.

Рассмотрим АЧХ звукового устройства ЭВМ при уровне входного сигнала 13 мВ. На диаграмме (рис. 2) представлена экспериментальная зависимость амплитуды от частоты.

Из рисунка хорошо видно, что зависимость постоянна в пределах 500 до 19000 Гц. Неравномерность АЧХ не более  $\pm 10$  dB. Наблюдаемый на частотах от 10 до 500 Гц завал АЧХ не более  $\pm 20$  dB. АЧХ на частотах выше 18 КГц падает до нуля.

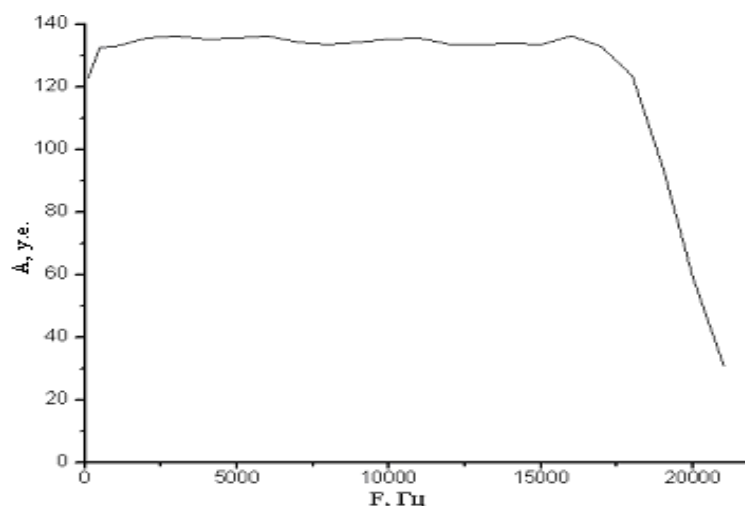


Рис. 2. АЧХ использованной звуковой платы ЭВМ.

Перевод условных единиц  $A$ , в единицы напряженности  $H_m$  А/м, осуществляется через калибровочную кривую, которая строится по результатам таблицы 1.

Таблица 1. Зависимость отклика от напряженности

№ выборки	$I$ , мА	$A$ , отн.ед.	$H_m$ , А/м	№ выборки	$I$ , мА	$A$ , отн.ед.	$H_m$ , А/м
1	0	0	0	15	800	1370	156
2	10	60	7	16	850	1435	165
3	20	120	15	17	900	1500	170
4	30	210	28	18	950	1580	180
5	40	330	40	19	1000	1640	188
6	60	480	55	20	1050	1720	195
7	100	630	75	21	1100	1790	202
8	200	720	87	22	1150	1865	210
9	300	890	103	23	1200	1925	217
10	400	980	113	24	1250	2000	225
11	500	1060	120	25	1300	2070	232
12	600	1140	127	26	1350	2170	240
13	700	1215	135	27	1400	2240	247
14	750	1290	145	28	1450	2350	260

Вид калибровочной зависимости линейная функция (1), параметры которой находятся по алгоритму метода наименьших квадратов и заносятся в память ЭВМ  $H_m = k \cdot A$ , где  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $A$  – относительные единицы.

Программа обработки реализована на языке C++ [3] в инструментальной оболочке Builder C++ v.6.0. Программа позволяет представлять данные в абсолютных значениях напряженности поля (рис. 3).



Рис. 3. Интерфейс программы: 1 – кнопки управления, 2 – графическое обозначение уровней опасности; 3 – уровень напряженности; 4 – значение напряженности; 5 – идентификация нажатия кнопки

Алгоритм работы программы содержит следующие последовательности действий: 1 - проверка на наличие звуковых устройств, установленных в системе; 2 – установка связи со звуковым драйвером; 3 - при нажатии кнопки «Start» происходит инициализация буферов и запуск звукового драйвера; 4 - драйвер заполняет буфер значениями оцифрованного сигнала; 5 - поиск максимального значения и вывод его на экран; 6 - при нажатии кнопки «Stop» происходит остановка обработки и очистка выделенной динамической памяти ЭВМ.

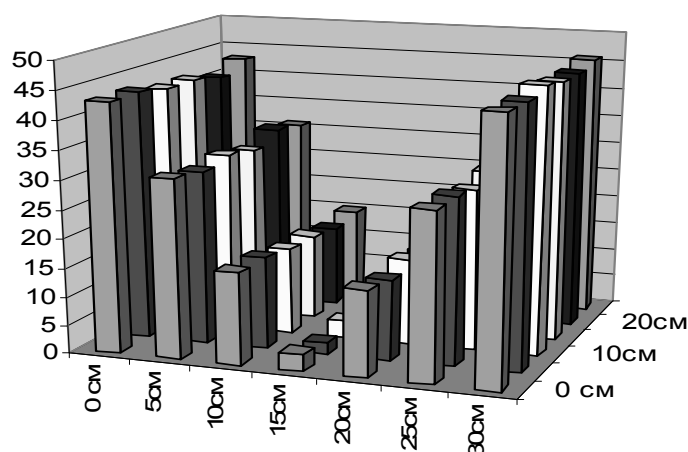


Рис. 4. Диаграмма напряженности магнитного поля вблизи монитора ЭВМ

С помощью разработанной установки и ПО нами были проведены исследования напряженности магнитного поля вблизи электронно-лучевого дисплея компьютера на расстоянии 5 мм через каждые 5 см по огибающей поверхности экрана в А/м. По результатам измерений построена диаграмма (рис. 4), из которой видно, что максимальные значения измеренного параметра наблюдаются на периферии экрана. По-видимому, это связано с недостаточной фокусировкой электронного луча отклоняющей системой электронно-лучевой трубки на определенной глубине люминофорного покрытия в этих областях, однако уровень напряженности поля не превышает предельно допустимого.

#### Литература

1. Магнитные измерения. / Под ред. Е.Т. Чернышева. – М., 1979.

2. Дмитриев С.Ф., Зудилов Е.С. Исследование начальных кривых намагничивания для сплава Fe-Ni марки 81НМА // Вестник ТГУ. Бюлл. № 24. 2005.
3. Страуструп Б. Язык программирования C++. – С-Пб.: –Изд-во БИНОМ, 1999.

## ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕССОВЫХ УЗЛОВ СО СВЕРТНЫМИ ВТУЛКАМИ

Осипов Ю.К. – к.т.н, Роговой В.М. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Применение свертных втулок в прессовых соединениях и узлах подшипников скольжения связано с экономией материалов (коэффициент использования металла повышается от 0,3...0,4 до 0,98), а также с уменьшением трудоемкости изготовления при получении их гибкой в холодном состоянии из лент различных металлов. При этом возможно получение смазочных канавок и отверстий во втулках непосредственно при гибке.

При небольших партиях и при невысоких требованиях к геометрической точности, свертные втулки изготавливаются реверсивным способом (рис.1, а). Из металлической ленты вырезается заготовка (карточка). После чего она помещается в специальный штамп, где производится предварительная гибка (поз.1). Окончательная форма (поз.2) втулки придается

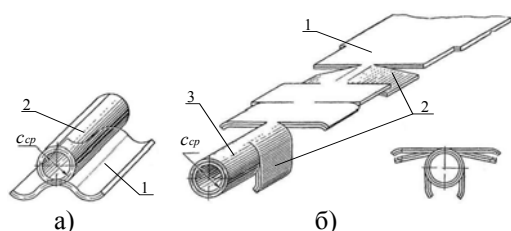


Рис.1 - Гибка втулок реверсивным способом (а), схема построения переходов при последовательном процессе штамповки (б)

гибкой заготовки на оправке в специальном приспособлении. Затем при необходимости вводят операцию калибровки. С увеличением партии, а также требований к геометрии и точности свертных втулок применяют последовательный процесс штамповки (рис.1, б) из ленты с использованием средств механизации и автоматизации, включающий в себя три операции: гибка заготовки из ленты; предварительная калибровка; окончательная

калибровка. Гибка, производится на штампе последовательного действия за четыре перехода: обрезка заготовки до длины развертки втулки (поз.1); предварительная гибка (поз.2); окончательная гибка и отрезка втулки от ленты (поз.3). На операциях предварительной и окончательной калибровки заготовке втулки придают точную геометрическую форму и необходимый размер наружного диаметра.

В процессе гибки внутренние слои металла заготовки втулки испытывают сжатие, их длина уменьшается, а наружные слои растягиваются, поэтому, из-за неравномерной

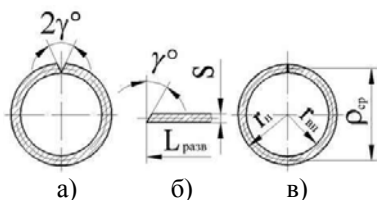


Рис.2 - Форма поперечного сечения свертной втулки: а) V-образный стык, б) фаска на торцах заготовки, в) плотный стык замка

упругопластической деформации, у готовой детали происходит раскрытие замка. По этой же причине, при запрессовке, торцы сворачиваемой втулки стыкуются не всей площадью, а образуется V-образный стык с некоторым углом  $2\gamma^0$  (рис.2, а), чтобы замок был плотным (рис.2, в), на торцах, со стороны наружного диаметра, изготавливается фаска под углом равным  $\gamma^0$  (рис.2, б).

Для неразъемных прессовых соединений и узлов подшипников скольжения диаметр свертной втулки при плотном сомкнутом замке выбирают так, чтобы она с натягом входила в посадочное отверстие корпуса. Расчет длины развертки свертной втулки производится нейтральному слою [4], положение которого принимается по средней линии толщины сворачиваемой ленты. Поэтому общая длина развертки втулки определяется по формуле [4]:

$$L_{разв} = 2 \cdot \pi \cdot \rho_{ср} \text{ мм}, (1)$$

где  $\rho_{cp}$  – радиус втулки по средней линии (рис.2, в), который рекомендуется определять по формуле:

$$\rho_{cp} = r_n - 0,5 \cdot S \text{ мм, (2)}$$

где  $r_n$  - наружный радиус втулки, мм;  $S$  - толщина ленты из которой сворачивают втулку, мм.

Как показал анализ литературы, для того чтобы получить гарантированный натяг при запрессовке и плотный замок у свертной втулки, необходимо результат расчета длины развертки, полученный по формуле (1) увеличивать на 1,5-2,0 % при гибке заготовок из металлов с пределом прочности менее 45 кгс/мм<sup>2</sup>, и на 0,5-1,0% при использовании более прочных металлов.

Часто при производстве прессовых узлов со свертными втулками, вследствие низкой жесткости стенок и устойчивости краев их замов, после запрессовки в корпусы, края замка загибаются во внутрь, в направлении центра отверстия. К этому же результату приводит неправильный расчет длины развертки свертных втулок при их проектировании или неточная настройка специального штампа, применяющегося при их изготовлении. При этом ослабляется прочность соединения, поскольку в месте загиба краев замка образуется зазор, уменьшается площадь фактического контакта сопрягаемых поверхностей и снижается величина контактных давлений. В основном высота вогнутых краев замка свертной втулки зависит от зазора между внутренним диаметром втулки и наружным диаметром оправки, на которой она устанавливается в корпус. Известно, что в свободном состоянии, до запрессовки, вследствие неравномерной упругопластической деформации, замок свертной втулки частично раскрывается. Далее, при запрессовке в корпус, в результате сближения, сжатия и деформации краев замка диаметр свертной втулки уменьшается, при этом длина ее развертки изменяется. Это приводит к уменьшению натяга запрессовки, и, следовательно, к ослаблению прочности прессового соединения. Уменьшение диаметра окружности при этом учитывается выражением [1]:

$$d'' = d' \cdot \left[ 1 - \frac{\arcsin\left(\frac{e}{d'}\right)}{180^0} \right], \text{ мм (3)}$$

где  $d''$  – диаметр посадочной поверхности заготовки свертной втулки при сжатых краях замка;  $d'$  – диаметр посадочной поверхности заготовки свертной втулки в свободном состоянии;  $e$  – зазор в замке заготовки свертной втулки в свободном состоянии. Учитывая, что в данном случае размер хорды незначительно отличается от длины дуги окружности, принимаем,

$$d'' = d' - \left(\frac{e}{\pi}\right) = d' - 0,32 \cdot e, \text{ мм (4)}$$

Запрессовка свертных втулок в корпусы обеспечивает прочность соединения, но последующая механическая обработка перераспределяет остаточные напряжения и нарушает напряженно-деформированное состояние в узлах. Вследствие этого, после механической обработки происходит уменьшение контактных давлений на поверхностях сопрягаемых



деталей, что приводит к ослаблению прочности соединения и в дальнейшем к разрушению узла.

Способы крепления в корпусах, применяемые для цельных втулок не подходят для свертных, вследствие их низкой жесткости из-за незамкнутого профиля поперечного сечения, малой толщины стенок, и из-за опасности их деформирования при этом. Использование упрочняюще-калибрующей обработки дорнованием свертных втулок, повышает прочность прессовых соединений без использования дополнительного крепления, и улучшает качество поверхностей их отверстий.

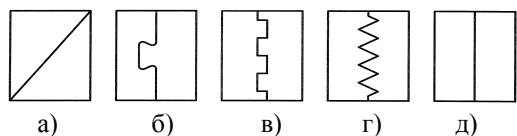


Рис.3 - Формы замков свертных втулок: а) косой, б) типа “ласточкин хвост”, в) прямоугольный, г) пилообразный и д) прямой

Известно несколько видов замков свертных втулок: косой, типа “ласточкин хвост”, прямоугольный, пилообразный и прямой (рис.3, а, б, в, г, д). При использовании в свертных втулках замков таких видов, как косой, прямоугольный, пилообразный и типа “ласточкин хвост”, значительно увеличивается механическая их прочность, и, следовательно, повышается прочность соединения в узле. Анализ литературы и экспериментальных данных показал, что после дорнования наилучшее качество замков получается у свертных втулок с прямым замком.

Экспериментально доказано [2], что в процессе обработки дорнованием по схеме растяжения свертных втулок с различными видами замков, наблюдается расхождение их торцов, они получаются неплотными, вследствие чего нарушается напряженно-деформированное состояние соединений, уменьшается площадь фактического контакта сопрягаемых поверхностей, снижается прочность и качество узлов. Так, например, после дорнования свертных втулок по схеме сжатия получается наиболее полное закрытие замков. В качестве заготовок использовались листовые полосы бронзы БрОЦС 4-4-2,5, меди М1, алюминия АЛ-1,8В, стали ст.3 и 10, материал дорна – стали Р18 и У8, смазка – сульфифрезол.

Влияние обработки дорнованием по схеме сжатия на качество и эксплуатационные свойства свертных втулок с прямым замком, запрессованных в корпуса, изучалось в работе [3]. В качестве заготовки использовался прокатный лист сталь 45, материал корпуса и дорна – сталь Р18, используемая смазка – сульфифрезол. Исследовалось влияние относительного натяга дорнования на усилие распрессовки, момент проворота, усилие дорнования, диаметральные остаточные напряжения и точность обработанных отверстий тонкостенных свертных и цельных втулок после обработки. С увеличением относительного натяга дорнования возрастают значения перечисленных параметров и показателей качества прессовых соединений и узлов со свертными втулками, причем эти зависимости имеют линейный характер. Для цельных – величина этих же значений была несколько выше, что объясняется меньшими возможностями течения металла обрабатываемых втулок. Изучалась зависимость шероховатости отверстий свертных втулок от натяга дорнования. С увеличением натяга дорнования, а значит и контактных давлений в зоне взаимодействия дорна и внутренней поверхности втулки, высота шероховатостей значительно уменьшается (с Ra 20...10 до Ra 0,16...0,08).

В этих работах проводились только экспериментальные исследования влияния упрочняюще-калибрующей обработки дорнованием на качество прессовых соединений, а теоретическая база этого процесса не рассматривалась. При этом не была разработана модель напряженно-деформированного состояния прессовых узлов со свертными втулками после упрочняюще-калибрующей обработки их дорнованием, позволяющая учесть контактные давления на поверхностях деталей, и изучить зависимость качества соединений от радиальных и тангенциальных напряжений, возникающих в них. В этих исследованиях недостаточно было изучено влияние на качество прессовых соединений и узлов: длины развертки свертных втулок, их замков, шероховатостей поверхностей сопрягаемых деталей и их площади контакта, а так же геометрических параметров деформирующего инструмента. Поэтому изучение теоретических закономерностей и технологических параметров процесса упрочняюще-

калибрующей обработки дорнованием отверстий свертных втулок, запрессованных в неразъемные корпуса, а также проектирование, совершенствование инструментов и оснастки являются актуальными.

#### Литература.

1. Гусева А.И. Автоматизация запрессовки подшипников скольжения при сборке изделий. Сборка в машиностроении, приборостроении. №3, 2001, С.8-10.
2. Миндрул О.Б., Куксов П.Н., Данилов В.А., Шелковников В.А. Улучшение качества стыка свертных втулок. Труды Алтайского Научно-исследовательского института технологии машиностроения. Выпуск 8. Барнаул, 1973. С.170-173.
3. Проскуряков Ю.Г., Миканадзе М.А. Эксплуатационные свойства свертных втулок, обработанных дорнованием. «Вестник машиностроения», 1983, №7. - С.44-46.
4. Скворцов Г.Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. Подготовительные работы. Изд. 2-е, перераб. и доп., М., Машиностроение, 1970. - 320 с., ил.

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫДАВЛИВАНИЯ В ЗАКРЫТУЮ ПОЛОСТЬ ШТАМПА

Макаренко Д.А.– студент, Мамонтов М.С. – студент, Дунаев К.Ю. – студент  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В качестве объекта оптимизации выбран двухпереходный процесс закрытой штамповки стержневых поковок с использованием нагрузочного элемента, сформированного на торце заготовки в первом переходе [1].

С целью оптимизации процесса штамповки разработана иерархическая гибридная модель, представленная в виде четырехмодульного алгоритма (рис. 1), включающего минимизацию силовых параметров процесса при условии заполнения полостей закрытого штампа (модуль 1), минимизацию отхода металла (модуль 2), расчет геометрических и силовых параметров компенсационной полости (КП) (модуль 3) и расчет усилия штамповки (модуль 4).

В исходные данные вводят параметры заготовки, поковки и полости штампа:  $V_n, H_n, D_n$  – объем, высота и диаметр поковки;  $V, H$  и  $D$  – соответственно объем, высота и диаметр заготовки;  $d_c$  и  $l_c$  – диаметр и длина стержня (выступа) поковки;  $\sigma_{st}$  – предел прочности стали при температуре окончания штамповки;  $r$  – радиус закругления в полости матрицы;  $b_u$  – ширина угла, не заполненного металлом к моменту стабилизации процесса штамповки;  $\zeta$  – коэффициент заполнения компенсационной полости;  $\varphi_i=1, \dots, n$  – группы точности исходной заготовки ( $i$  – номер группы,  $n$  – количество групп);  $V_p=(0,02 \div 0,06)V$  – объем отхода металла, рекомендуемый при закрытой штамповке.

В первом модуле минимизируют силовые условия процесса, обеспечивающие заполнение матричной и стержневой полостей штампа определяют напряжение, действующее в окрестности углов матричной полости, используя, например, выражение [2]:

$$\sigma_{II} = \sigma_s (1 + \mu_m) \ln \frac{b_{II}}{r}, \quad (4)$$

где  $\mu_m$  – показатель трения на стенках полости матрицы;  $b_{II}=0,5(D_n-D)$ .

Затем условие  $\sigma_{II} > \sigma_s$ , обеспечивающее заполнение стержневой полости. Рассчитывают закругления в полости матрицы. После выполнения условия переходят к расчету внутреннего диаметра ( $d_3=(0,2 \div 0,8)D_n$ ). После чего переходим к определению напряжения деформации для этого используем формулу И.Я. Тарновского, полученную при малой осадке цилиндрической заготовки [3]:

$$P_3 = \sigma_s [1,08 + 0,18 \left( \frac{D_{II}}{d_3} - 1 \right) \cdot \alpha \cdot \ln \frac{d_3}{h_3}], \quad (5)$$

где  $d_3$  и  $h_3$  – внутренний диаметр и высота нагрузочного (кольцевого) элемента;  $\alpha = \tau / \tau_s$  – относительный параметр трения, определяемый по формуле:

$$\alpha = \mu + \frac{1}{8} \cdot \frac{D_{II}}{2h_3} (1 - \mu_m) \sqrt{\mu_m}. \quad (6)$$

Здесь  $\tau$  – касательное напряжение на стенках матрицы;  $\tau_s$  – напряжение чистого сдвига.

Затем проверяют условие заполнения матричной полости ( $p_3 > \sigma_u$ ). В случае не выполнения этого условия корректируют размеры  $d_3$ . После переходят к решению модуля 2.

При минимизации объема штампуемого металла (модуль 2) вначале принимается рекомендуемый объем избытка равный 2% от объема заготовки ( $V_{p\gamma}=(0,02 \div 0,06)V$ ,  $\gamma=1, \dots, k$  – номер параметров отхода металла;  $k$  – количество параметров) и рассчитывается максимальное отклонение объема заготовки при использовании проката обычной точности и выбора наиболее простого способа рубки заготовок. Выполнения этого условия добиваются за счет выбора более точного проката и способа рубки заготовок, т.е. варьированием группы ( $\varphi_i$ ) точности заготовки. Если не одна группа точности не удовлетворяет условию, то необходимо увеличить рекомендуемый объем избытка металла.

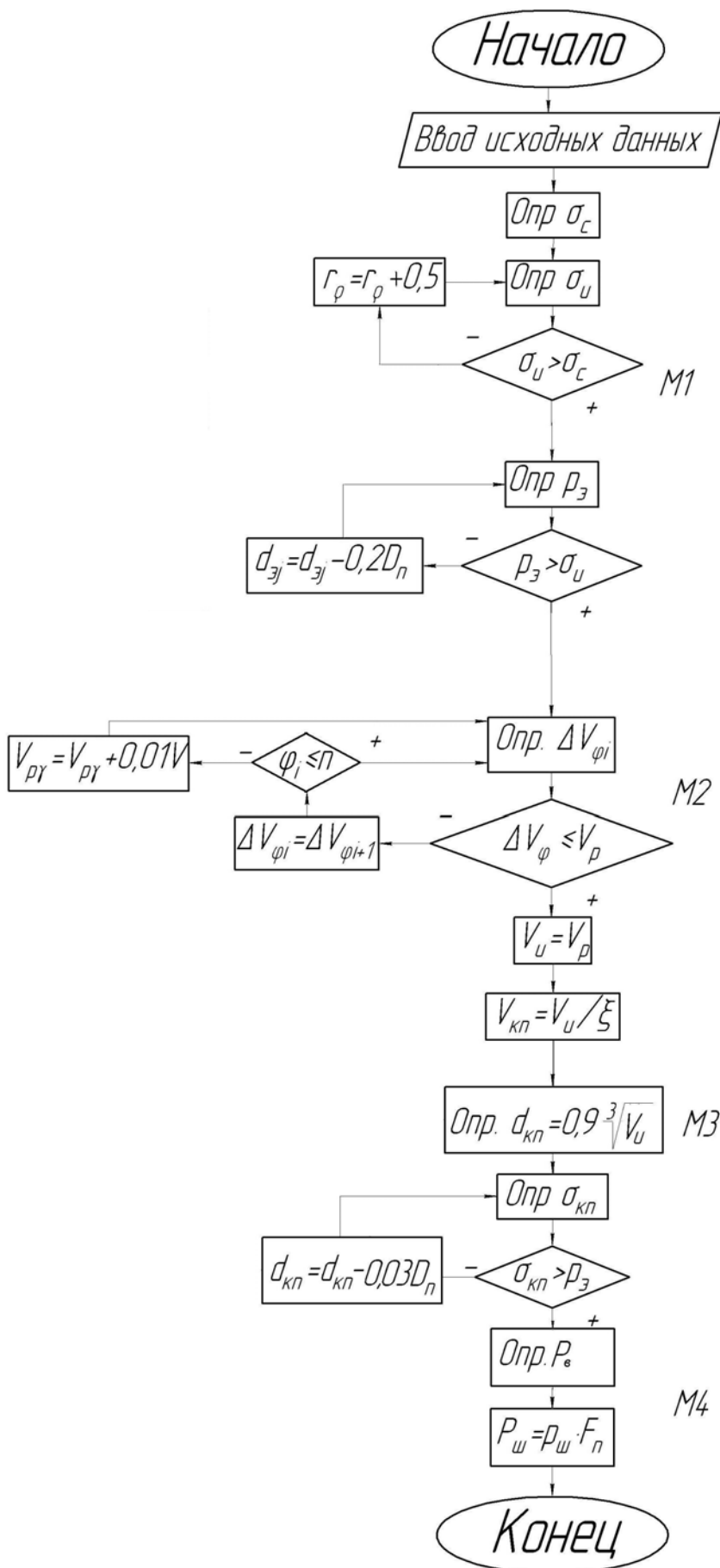


Рисунок 1 – Алгоритм оптимизации процесса выдавливания в закрытую полость штампа

При расчете геометрических и силовых параметров КП (модуль М3) рассчитывают параметры компенсационной полости (КП). Высота ( $h_{кп}$ ) компенсационной полости принимается равной  $h_{кп} = m_f \cdot d_{кп}$ ,  $m_f = (1,2)$ .

Затем определяют сопротивление деформации ( $\sigma_{кп}$ ) при затекании металла в КП.

Для определения напряжения  $\sigma_{кп}$  может быть использовано выражение, полученное в работе [2] при выдавливании металла в коническую полость:

$$\sigma_{кп} = \sigma_s \left[ 2 \mu_{кп} \frac{h_{кп}}{D_{п}} + 2(1 + \mu_{кп}) \ln \frac{D_{п}}{d_{кп}} + 2 \left(1 + \frac{\mu_{кп}}{\operatorname{tg} \alpha}\right) \ln \frac{d_{кп}}{d} \right], \quad (7)$$

где  $d_{кп}$  и  $d$  – соответственно значения диаметров большего и меньшего оснований конической полости;  $\alpha$  – угол конусности полости;  $\mu_{кп}$  – показатель трения в КП.

В следующем блоке проверяют условие  $\sigma_{кп} > p_{э}$ . Если условие не выполняется, то осуществляют корректировку размеров КП.

Далее осуществляется переход к расчету усилия штамповки (модуль М4). При этом определяется напряжение деформации при доштамповке ( $p_{ш}$ ), используя зависимость, приведенную в работе [2]:

$$p_{ш} = \sigma_s \left[ (1 + \mu_M) \ln \left| \frac{F_{п}}{f_{п}} \right|_{\leq \vartheta} + \left(1 + \frac{\mu_c}{\operatorname{tg} \alpha}\right) \ln \frac{f_{п}}{f} + 2 \mu_M \left(1 + \frac{H_{п}}{D_{п}}\right) + \mu_c \left(\frac{4}{3} - \frac{d_{п}}{D_{п}}\right) \frac{D_{п}}{H_{п}} \right], \quad (8)$$

где  $F_n$  – площадь поковки в плане;  $f_n$  и  $f$  – площади сечений полостей, соответствующих большему ( $d_n$ ) и меньшему ( $d$ ) диаметрам стержневой полости (полости выступа).

С целью минимизации энергоемкости процесса штамповки целесообразно, чтобы напряжение  $p_{ш}$  было равно сопротивлению деформации ( $\sigma_{кп}$ ) при заполнении КП. Затем рассчитывают усилие ( $P_{ш}$ ) штамповки:

$$P_{ш} = p_{ш} \cdot F_n, \quad (9)$$

Алгоритм реализован в виде программы, которая успешно опробована.

Программная реализация алгоритма позволяет обеспечить заполняемость полости закрытого штампа и своевременно удалить избыток металла при условии минимизации расхода штампуемого металла и энергоемкости процесса (а, значит, и повышенной стойкости штампа).

#### Литература

1. М.И. Поксеваткин и А.И.Осколков. Способ двухпереходной объемной штамповки стержневых деталей с утолщением. Авт. свид. СССР. №1476717.07.04.1987.
2. А.В. Ребельский. Основы проектирования прессов горячей объемной штамповки. М., Машиностроение. 1965.-248с
3. И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев, О.А. Ганаго. Деформации и усилия при обработке металлов давлением. Москва, Свердловск, изд. ГНТИМЛ.1959. – 304с.
4. Н.Л.Соколов. Горячая штамповка выдавливанием стальных деталей. М., Машиностроение. 1967. – 191с.

## ПЕРВИЧНАЯ, РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Макаренко Д.А. -студент, Околович Г.А. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Начиная с определенной температуры при отжиге холоднодеформированного металла происходят сильные изменения микроструктуры, которые относятся к процессу, называемому рекристаллизацией. Наряду с вытянутыми деформированными зернами даже при небольших увеличениях светового микроскопа можно различить новые, более или менее равноосные рекристаллизованные зерна. По мере увеличения времени или температуры отжига площадь шлифа, занятая новыми зернами, возрастает, а старые деформированные зерна постепенно исчезают. Рентгеновский анализ, а позднее электронная микроскопия фолы показали, что новые равноосные зерна отличаются от старых вытянутых зерен деформированной матрицы не только формой, но и, что гораздо важнее, более совершенным внутренним строением, резко пониженной плотностью дислокации. Если плотность дислокации в сильнодеформированном металле составляет  $10^{11}—10^{12}$  см<sup>-2</sup>, то после прохождения рекристаллизации она снижается до  $10^6—10^8$  см<sup>-2</sup>.

В отличие от полигонизованной структуры, которая также более совершенна, чем деформированная матрица, рекристаллизованные зерна отделены от матрицы не малоугловыми, как субзерна, а высокоугловыми границами. Это различие имеет принципиальное значение.

Благодаря быстрой миграции высокоугловых границ рекристаллизованные зерна интенсивно «поедают» деформированную матрицу. Субзерна на стадии полигонизации имеют ориентацию деформированного кристаллита, а рост рекристаллизованного зерна, окруженного высокоугловой границей, может быть связан с сильной переориентацией кристаллической решетки.

*Образование и рост зерен с более совершенной структурой, окруженных высокоугловыми границами, за счет исходных деформированных зерен той же фазы. называют первичной рекристаллизацией или рекристаллизацией обработки.*

Кинетика рекристаллизации похожа на кинетику фазовых превращений в изотермических условиях.

Термодинамическим стимулом первичной рекристаллизации является накопленная при пластической деформации энергия, связанная с дислокациями, которые образуют хаотичные скопления, объемные стенки ячеек или же плоские субграницы. Уменьшение плотности дислокации при первичной рекристаллизации приводит к высвобождению основной доли этой накопленной энергии.

Уменьшение энергии в объеме кристаллов, происходящее в процессе повышения их структурного совершенства, перекрывает возрастание поверхностной энергии при любых, даже самых малых размерах рекристаллизованного зерна. Совсем не обязательно, чтобы зерна в рекристаллизованном металле были крупнее, чем в деформированном. К моменту окончания первичной рекристаллизации суммарная поверхность равноосных зерен, выросших из множества центров, может быть больше суммарной поверхности вытянутых деформированных зерен. Несмотря на это, энергия Гиббса рекристаллизованного металла меньше, чем деформированного, из-за уменьшения общей плотности дислокации внутри зерна. Поэтому образование центров рекристаллизации – термически активируемый процесс, ускоряющийся в ростом температуры.

Возврат, предшествующий рекристаллизации, влияет на зародышеобразование, причем влияние это двойственное.

Отдых всегда должен в той или иной степени затруднять зарождение центров рекристаллизации, так как уменьшение концентрации вакансий при отдыхе замедляет диффузионные процессы, контролирующие скорость формирования центров рекристаллизации.

Более сложно влияние полигонизации. Если в слабдеформированном металле нет значительных локальных изменений кривизны решетки и по всему объему одновременно и с

примерно одинаковой скоростью формируются и растут субзерна, то они могут достичь большого размера и высокого совершенства, а границы между ними остаются малоугловыми и малоподвижными. Такая полигонизация затрудняет рекристаллизацию из-за снижения накопленной энергии (термодинамического стимула рекристаллизации).

Далеко зашедшая полигонизация (рекристаллизация на месте) приводит к образованию столь совершенной субструктуры со стабильной сеткой малоугловых границ, окружающих крупные субзерна, что первичная рекристаллизация не наблюдается вплоть до точки плавления. Поэтому в данном случае, характерном для отжига после малых деформаций, можно говорить, что полигонизация — это процесс, конкурирующий с рекристаллизацией.

Если же в деформированном металле имеются участки с большой локальной кривизной решетки, то ускоренный рост субзерен в предпочтительных местах приводит к образованию крупных субзерен, которые растут за счет соседней, быстро «набирают» угловую разориентировку на своей границе и превращаются в центры рекристаллизации. Такая полигонизация является начальным этапом рекристаллизации, что характерно для отжига поликристаллов после средних и больших деформаций.

Полигонизацию, приводящую к формированию центров рекристаллизации, С. С. Горелик предложил называть *предрекристаллизационной* в отличие от *стабилизирующей полигонизации*, затрудняющей зарождение рекристаллизованных зерен.

## ТЕМПЕРАТУРА НАЧАЛА РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Кудряшова С.В.-студентка, Околович Г.А. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

При разработке режимов термической обработки и для других целей необходимо уметь экспериментально фиксировать начало появления рекристаллизованных зёрен сравнительно простым методом. При решении большинства прикладных задач условное начало рекристаллизации определяют с помощью световой микроскопии по появлению первых, обычно более светлых равноосных зерен на фоне сильнее травящейся деформированной матрицы или рентгеновским методом по появлению точечных пятен («уколов») на размытых интерференционных линиях рентгенограммы. Каждое такое пятно соответствует отражению рентгеновских лучей от рекристаллизованного зерна размером 2— 5 мкм. Световая микроскопия надежно выявляет рекристаллизованные зерна после достижения ими размера 10— 50 мкм. Иногда начало рекристаллизации определяют по началу интенсивного падения твердости или временного сопротивления.

Температура появления рекристаллизованных зерен, т. е. температура начала рекристаллизации ( $t_p^H$ ), не является физической константой, такой как точка плавления.

В отличие от температуры фазового равновесия температура начала рекристаллизации зависит от времени отжига. Если время отжига составляет 1000 мин, то при 325, 350 и 370 °С первичная рекристаллизация успевает полностью закончиться, а при 310 °С она еще только начинается. При времени отжига 10 мин начало рекристаллизации фиксируется при 370 °С, а при более низких температурах новые зерна не обнаруживаются. Следовательно, при длительности отжига 1000 мин  $t_p^H = 310^\circ\text{C}$ , а при 10 мин  $t_p^H = 370^\circ\text{C}$ .

Другой фактор, сильно влияющий на температуру начала рекристаллизации,— степень деформации при обработке давлением. С увеличением степени деформации температура начала рекристаллизации снижается (рис. 1). Объясняется это тем, что с увеличением степени деформации растут плотность дислокации и энергия, накопленная при деформации, т. е. возрастает термодинамический стимул рекристаллизации.

Так как плотность дислокации и соответственно накопленная при деформации энергия с увеличением степени деформации растут с затуханием, то и температура начала

рекристаллизации снижается при увеличении степени деформации с затуханием, достигая определенного предела при данном времени отжига (см. рис. 1).

С увеличением времени отжига сильнодеформированного металла температура начала его рекристаллизации снижается с затуханием, достигая приближенно постоянной величины через 1—2 ч отжига. Наинизшая температура начала рекристаллизации металла или сплава, соответствующая большим деформациям (более 60—70%) и времени отжига 1—2 ч, в определенной мере может служить — характеристикой материала, *температурным порогом рекристаллизации* ( $t_{п.р.}$ ) в отличие от любых других, более высоких значений  $t^H$ .

А. А. Бочвар показал, что между температурным порогом рекристаллизации и температурой плавления металлов имеется простое соотношение: рекристаллизация начинается при температуре, составляющей одинаковую для всех металлов долю от температуры плавления по абсолютной шкале, а именно

$$T_{п.р.} = (0,3-0,4)T_{п.л.}$$

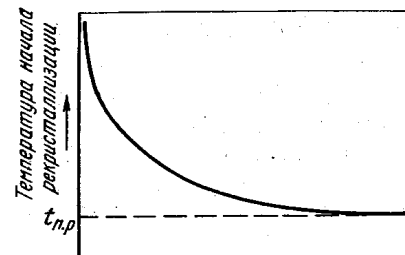


Рис. 1. Влияние степени

коэффициент 0,3—0,4 в этой формуле относится к деформации на температуру металлам сравнительно высокой технической чистоты. начала рекристаллизации

По правилу А. А. Бочвара можно оценить в первом приближении температурный порог рекристаллизации по известной температуре плавления металла. Это бывает необходимо, когда нет справочных данных. Например, можно оценить температуру начала рекристаллизации свинца:

$$(327+273)0,4 - 273 = -33 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Измельчение исходного (до деформации) зерна приводит к понижению температуры начала рекристаллизации, так как в более мелкозернистом металле больше суммарная площадь высокоугловых границ, где зарождаются центры рекристаллизации, и больше накопленная при деформации энергия.

Температуру полного исчезновения деформированной матрицы при данном времени отжига называют температурой конца рекристаллизации  $t^k_{п.р.}$ . Экспериментально ее определяют с помощью световой микроскопии — по исчезновению сильнее травящихся остатков деформированной матрицы.

На температуру конца рекристаллизации влияют все те факторы, которые изменяют температуру начала рекристаллизации. Чем выше  $t$ , тем чаще всего (но не всегда) выше и  $t^k$ .

### Литература

1. Бочвар А.А. Основы термической обработки сплавов. Гл.IV. М.: Металлургиздат, 1940, 2987 с.