

Министерство образования и науки Российской Федерации

Алтайский государственный технический
университет им. И.И.Ползунова



НАУКА И МОЛОДЕЖЬ

3-я Всероссийская научно-техническая конференция
студентов, аспирантов и молодых ученых

СЕКЦИЯ

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

ПОДСЕКЦИЯ

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Барнаул – 2006

ББК 784.584(2 Рос 537)638.1

3-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Наука и молодежь". Секция «Машиностроительные технологии и оборудование». Подсекция «Литейное производство» / Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2006. –12с.

В сборнике представлены работы научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, проходившей в апреле 2006 г.

Организационный комитет конференции:

Максименко А.А., проректор по НИР – председатель, Марков А.М., зам. проректора по НИР – зам. председателя, Арзамарсова А.А. инженер Центра НИРС и молодых учёных – секретарь оргкомитета, Марков В.А., декан механико-технологического факультета АлтГТУ – руководитель секции «Машиностроительные технологии и оборудование», Балашов А.В. – редактор.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Околович А.Г. – студент гр. ОМД 21
Околович Г.А. – к.т.н., профессор

Основные преимущества печей с кипящим слоем – высокая скорость и равномерность нагрева, такая же, как в соленых и селитровых ваннах.

Детали, прошедшие термическую обработку в печах с кипящим слоем, имеют незначительное коробление, чистую поверхность, а отверстия в обрабатываемых деталях не закупориваются. Печам с кипящим слоем свойственна и технологическая гибкость, так как одна и та же печь может быть использована для работы как с обычной, так и с любой контролируемой атмосферой – цементация, азотирование, карбонитрация, а также для охлаждения при закалке.

Вместо элементов сопротивления при внешнем подводе тепла в кипящий слой может быть использован непосредственный нагрев стен реторты. Для создания псевдооживленного

слоя применяются частицы электрокорунда размером 120 – 300 мкм. Высота слоя 600 мм, что обеспечивает нагрев деталей длиной 400 – 500 мм.

При рабочем режиме 900 – 1000⁰С перепад температуры по сечению печи $\pm 7^0$ С.

Сравнение технико-экономических показателей процесса нагрева деталей в печах с кипящим слоем и в электропечах показывает, что при равной производительности оборудования энергозатраты на тонну обрабатываемых в кипящем слое изделий в 3 раза меньше, КПД в 1,6 раза выше, производственная площадь, занимаемая печью с кипящим слое, в 20 раз меньше.

Скорость охлаждения изделий возрастает при снижении температуры охлаждающего слоя. Таким образом, в зависимости от марки стали и сечения (массы) охлаждаемых изделий для получения заданных механических свойств, обеспечиваемых образованием сорбитно-трооститной структуры (нижняя треть перлитного интервала) (рис. 1),

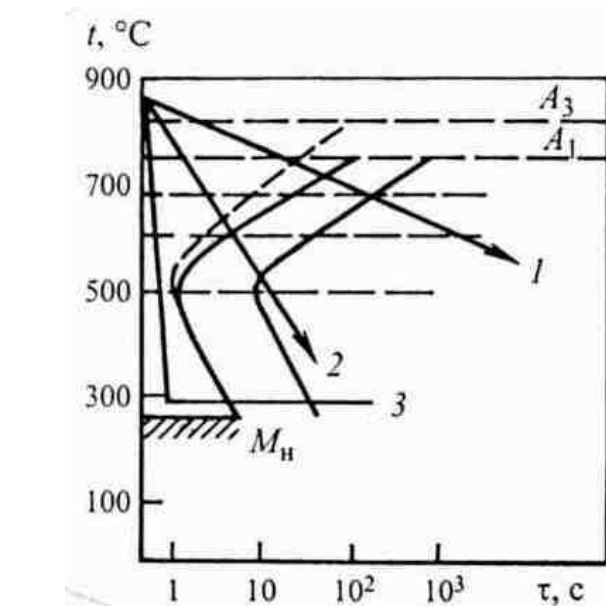


Рис. 1 Схема диаграммы изотермического превращения аустенита стали 60 с нанесенными на нее векторами скоростей охлаждения при осуществлении:

- 1 – нормализации (охлаждения на воздухе);
- 2 – одинарной обработки (охлаждение в кипящем слое);
- 3 – изотермической закалкой (охлаждение в жидких средах-расплавах)

используется как обогреваемый кипящий слой, так и "холодный" (ниже 100⁰ С). При этом скорость охлаждения в "холодном" кипящем слое во всем интервале ниже 100⁰ С практически не изменяется, а разогрева выше 100⁰ С (за счет внесения тепла охлаждаемых изделий) можно избежать, оборудовав охлаждающий бак змеевиками с проточной водой, а также путем впрыскивания дискретных порций воды, на испарение которых будет использоваться излишнее тепло [2].

Следует отметить особенности одинарной обработки в кипящем слое в сравнении с традиционными процессами. Так, при охлаждении аустенитизированных изделий в кипящем слое стирается строгая граница между одинарным охлаждением и изотермической закалкой. Традиционно изотермическая закалка характеризуется охлаждением в жидких средах – расплавах, а одинарную обработку можно рассматривать как ускоренную нормализацию. В кипящем слое это четкое различие исчезает – кипящий слой позволяет плавно регулировать

температуру. Таким образом, изменяя температуру кипящего слоя в одной и той же охлаждающей ванне, можно получать структуры (и свойства) как достигаемые при изотермической закалке, так и присущие одинарной обработке. Характер получаемой структуры и уровень механических свойств зависят от марки стали, сечения (массы) изделия, характеристик кипящего слоя (температура, дисперсность); при оптимальной дисперсности ($d_{\text{ч}} = 120 - 200$ мкм) — от температуры кипящего слоя.

Так, тонкостенная труба (стенка толщиной $b = 1,2 - 2$ мм) из стали 40X при охлаждении в кипящем слое с $t = 250 - 260^{\circ}\text{C}$ обеспечивает $\text{HRC} > 46$, $\sigma_{\text{в}} > 1200$ МПа, $\psi > 10\%$. Аналогичные свойства эта же деталь имеет после изотермической выдержки в расплаве щелочей с $t = 320 - 330^{\circ}\text{C}$.

Выводы

1 Одинарная обработка в кипящем слое позволит получать заданные механические свойства изделий из высокоуглеродистых и низколегированных сталей и может использоваться вместо улучшения.

2 В условиях массового производства особенно выгоден процесс одинарной термической обработки с использованием тепла нагрева под штамповку (если технические требования чертежа позволяют проводить "улучшение в заготовке").

3 В зависимости от конфигурации (массы) деталей и марки стали при охлаждении в кипящем слое можно получать структуры и свойства, характерные как для одинарной обработки, так и для изотермической закалки; при этом температура изотермической выдержки выбирается на $60 - 80^{\circ}\text{C}$ ниже справочной.

4 Процессы одинарной обработки и изотермической закалки в кипящем слое — экологически чистые, безопасные для персонала, что позволяет исключить применение расплавов щелочей в линиях "светлой закалки".

5 Процессы одинарной обработки в кипящем слое — энергосберегающие и экономически целесообразны.

Список литературы

- 1 Гуляев А. Л. Термическая обработка стали. М.: ГНТИ. 1960. 496 с.
- 2 Файншмидт Е. М, Заваров А. С. Термическая обработка в кипящем слое деталей машиностроения. М.: ЦНИИНТИ, 1984. 81с.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Околович А.Г. — студент гр. ОМД 21

Околович Г.А. — к.т.н., профессор

Это свойство определяет устойчивость рабочих поверхностей инструментов против смятия в условиях высоких давлений, возникающих в эксплуатации. Оно характеризуется величиной предела текучести при сжатии и зависит от тех же факторов, как и твердость: концентрации углерода в мартенсите, количества и дисперсности фаз-упрочнителей (карбидов и интерметаллидов) и количества более мягкой составляющей в структуре — остаточного аустенита, избыточного феррита (или графита). Для большинства инструментальных сталей, закаленных на высокую твердость, этой составляющей является остаточный аустенит.

Поэтому предел текучести при сжатии возрастает пропорционально увеличению твердости (рис. 1), но его абсолютная величина сильнее, чем твердость, зависит от количества аустенита, особенно если его количество больше $5 - 10\%$. Для стали с высокой твердостью ($\text{HRC} 64 - 65$) предел текучести при сжатии составляет $2300 - 2600$ МПа/мм² при количестве аустенита $3 - 5\%$ и лишь $1700 - 1900$, т. е. на $20 - 25\%$ меньше, при 15% аустенита.

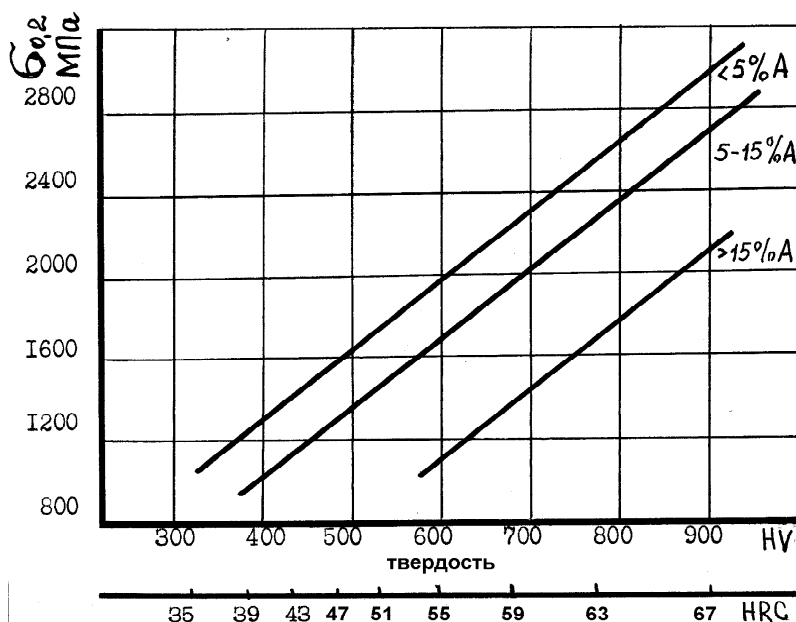


Рис. 1 Зависимость предела текучести от твердости и количества остаточного аустенита

Отсюда следует, что нетеплостойкие и некоторые полутеплостойкие стали, сохраняющие высокую твердость лишь после низкотемпературного отпуска ($150 - 180^{\circ}\text{C}$), не превращающего аустенит, имеют меньшее сопротивление пластической деформации, чем теплостойкие стали, которые подвергают отпуску при более высоком нагреве ($560 - 580^{\circ}\text{C}$).

Высокое сопротивление пластической деформации у теплостойких сталей должно сохраняться и при нагреве, не вызывающем еще снижения твердости.

Вместе с тем надо учитывать, что действительная величина сопротивления пластической деформации в рабочем слое инструментов из многих нетеплостойких и особенно полутеплостойких сталей может выше, чем это непосредственно следует из данных рис. 1. Повышение предела текучести является следствием превращения части остаточного аустенита в поверхностном слое под действием деформации.

Предел текучести при сжатии ($\sigma_{0,2}$), т.е. напряжение, при котором остаточная деформация составляет 0,2 %, целесообразно определять на образцах диаметром 10 и длиной 15 мм путем последовательного нагружения и разгружения с замером остаточной деформации.

КОМПЕНСАЦИЯ ИЗБЫТКА МЕТАЛЛА ПРИ ЗАКРЫТОЙ ШТАМПОВКЕ ШАТУНОВ

Овчаров Г.А. – аспирант

Штильников А.А. – аспирант

Дармаев Б.Ю – студент гр. ОМД 21

Поксеваткин М.И. – к.т.н., профессор

Известны способы компенсации избытка металла с использованием магазинных и деформационных компенсаторов. При закрытой штамповке возникает большое сопротивление деформации. Поэтому использование магазинного компенсатора нецелесообразно, так как значительные распирающие напряжения вызывают интенсивный износ штампа.

В связи с этим предлагается комплексная компенсация избытка металла с использованием деформационного компенсатора и компенсации избытка металла за счёт упругой деформации системы пресс-штамп.

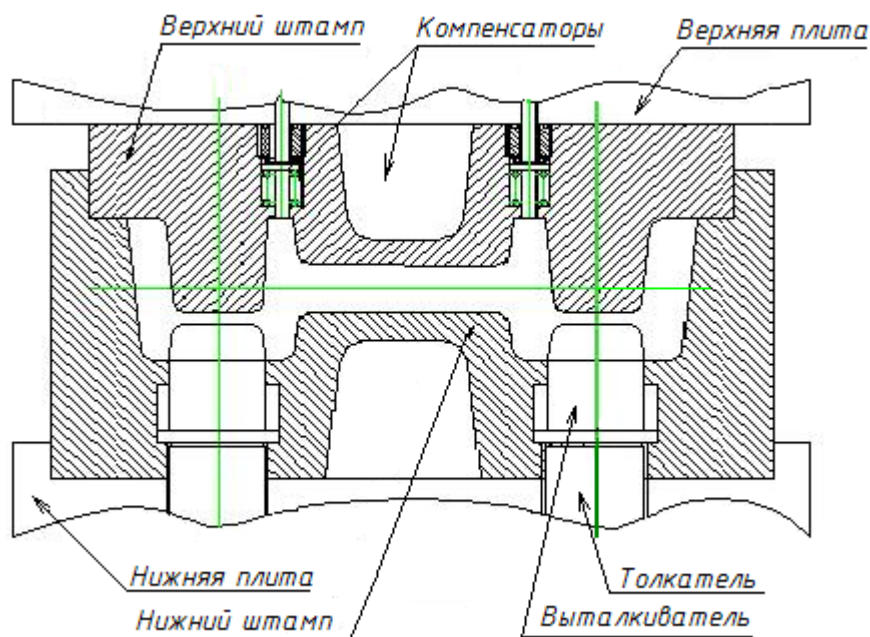


Схема закрытой объемной штамповки

Для этого ручьевая вставка и пуансон выполнены с полостями, обеспечивающими необходимую упругую деформацию при доштамповке.

Для конструирования деформационного компенсатора проводим расчёт напряжений ($\sigma_{пр}$) противодействия по формуле $\sigma_{пр} = 3\sigma_{ст} \left[\left(\ln \frac{b}{r} \right) \left(\frac{u}{l_c} \right) - \ln \frac{D_n}{d_n} - 0,3 \frac{l_c}{d_n} \right]$, где b – ширина

очага деформации в углу матрицы в момент его стабилизации, r – радиус скругления угла полости штампа, u – глубина затекания металла в угол полости матрицы с момента стабилизации очага деформации в углах полости, l_c – длина стержня, D_n – диаметр поковки, d_n – диаметр стержня.

Допустимую упругую деформацию рассчитываем с использованием формулы $\sigma_y = \varepsilon_{доп} E$, где $E = 2 \cdot 10^5$ Мпа – модуль упругости Юнга, $\varepsilon_{доп}$ – допустимая степень деформации.

Предельная прочность металла в момент доштамповки (при $t = 900^\circ$) должна быть меньше предела упругости металла инструмента: $\sigma_{ст} < \sigma_y$

Исходя из этого условия назначаем свою степень деформации в рамках допустимой, с использованием которой определяем геометрические размеры полости в пуансоне и матрице.

$$\varepsilon_{доп} = \Delta h / h;$$

где Δh – упругая деформации стенки штампа, h толщина стенки штампа у компенсационной полости. Задача комплексной компенсации избытка металла решена.

ШТАМП ДЛЯ ЗАКРЫТОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ШАТУНОВ

Овчаров Г.А. – аспирант

Штильников А.А. – аспирант

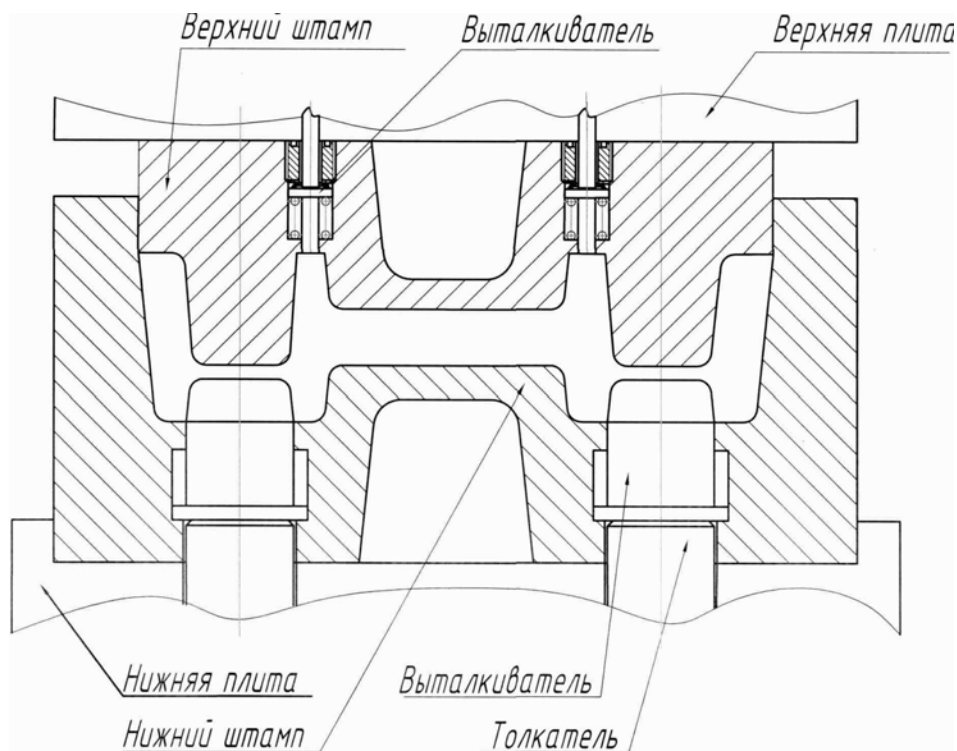
Дармаев Б.Ю – студент гр. ОМД 21

Поксеваткин М.И. – к.т.н., профессор

Горячая объемная штамповка занимает важное место в технологических циклах машиностроительных предприятий и от эффективности этого процесса в большей степени зависят технико-экономические показатели всего производства.

В настоящее время свыше 80 % горячештампованных поковок получают на молотах и прессах в открытых штампах. При этом потери металла в виде облоя составляют от 7 до 25%, в виде штамповочных уклонов и других напусков – от 15 до 30 %

В зависимости от массы и конфигурации поковок. В результате коэффициент использования металла при открытой штамповке не превышает 0,45. Поэтому особенно актуальным становится дальнейшее совершенствование процессов горячей объемной штамповки, повышение точности размеров и улучшения качества поверхности поковок путем перевода их изготовления со штамповки в открытых штампах на закрытую штамповку, штамповку выдавливанием и другие малоотходные и безотходные технологии.



В нашей статье рассматривается технология изготовления шатуна в закрытом штампе за 1 переход с предварительной вальцовкой заготовки. При закрытой штамповке благодаря значительному боковому подпору стенок ручья матрицы создается высокое гидростатическое давление, обеспечивающее повышенную пластичность металла. Кроме того она обеспечивает лучшие механические свойства и благоприятное волокнистое строение металла поковок. Основное требование при штамповке в закрытых штампах сводится к точности объема заготовок, потому как при штамповке образование облоя не предусматривается и объем металла остается практически неизменным и колебания объема заготовок должны быть минимальными в пределах 5 %.

В применяемой схеме избыток металла компенсируется комплексно, в деформационный компенсатор и за счет упругой деформации системы «пресс-штамп». Деформационный компенсатор выбран, так как при его использовании повышается стойкость и технологические возможности штампа. Для упругой деформации системы «пресс-штамп» в штампе предусмотрены специальные полости, которые компенсируют избыток металла за счет деформации стенок полости. Плоскость разъема располагаем по верхней плоскости шатуна, переключку располагаем ближе к нижней плоскости шатуна для лучшего заполнения полости штампа. Для повышения точности центрирования верхний штамп в начале процесса движется по направляющим в нижнем штампе, образование заусенца не предусматривается.

Данная схема штамповки позволяет сэкономить до 30 % металла, что не маловажно при массовом производстве и постоянном росте цен на металл. При переходе на закрытую штамповку снижается стоимость деталей следовательно повышается конкурентоспособность, изделия получаются более качественные, с лучшими физическими свойствами.

ОСВОЕНИЕ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕЛКОСОРТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРОКАТКОЙ

Бабак Е.Ю. – студентка гр.ОМД-21

Литовченко А.В. – студент гр.ОМД-21

Карпов С.В. – к.т.н, доцент

Гнутые профили проката относятся к одному из экономичных видов металлопродукции, которые изготавливают методом последовательного формоизменения листов полос и ленты в валках профилегибочных станов различных типов. Эти профили могут иметь самую разнообразную конфигурацию поперечного сечения, быть замкнутой и полузамкнутой формы. Первые профилегибочные станы появились в начале прошлого века в США в заготовительном производстве для автомобильной промышленности. В СССР первый прокатный стан был создан в начале 30-ых годов и его появление также связано с развитием автомобилестроения. Однако основное развитие производство гнутых профилей произошло только в 50-ые-70ые годы прошлого века.

В настоящее время изготовление гнутых профилей переживает новое рождение и это связано в первую очередь с оживлением строительного производства. В связи с потребностями строительства производство мелкосортных профилей получает распространение в таких регионах, в которых оно ранее не имело места. Но освоение выпуска изделий с использованием прокатных станов связано и с наличием специалистов, владеющих методикой расчета специфических технологических процессов, отличающихся как от прокатки, так и от штамповки.

Процесс профилирования отличается от процессов прокатки в том, что при профилировании толщина исходной заготовки и площадь ее поперечного сечения практически не изменяются. Форма поперечного сечения претерпевает постепенные изменения: высота сечения, как правило, увеличивается, длина исходной заготовки практически не изменяется. И в отличие от штамповки заготовка находится в непрерывном движении и теоретически может иметь бесконечную длину. При профилировании деформация металла начинается перед валками значительно раньше, чем данный участок полосы придет с ними в соприкосновение и необходимая форма сечения получается в результате деформации пластического изгиба в холодном состоянии.

На кафедре МиТОМД нами осуществлена разработка технологических процессов изготовления двух профилей, форма и размеры которых представлены на рисунке 1.

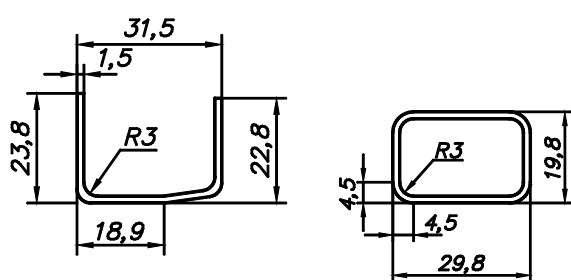


Рисунок 1 Профили

Основное содержание технологической разработки или профилирования носит название калибровки валков.

Калибровку валков принято вести по двум основным схемам: по ходу профилирования (от заготовки до готового профиля) и против хода профилирования (от готового профиля к заготовке).

При схеме расчета от готового профиля к исходной заготовке обеспечивается необходимое количество металла в каждом калибре по переходам. При этом все неточности промежуточных переходов в большей степени сказываются на размерах и форме средних участков и меньше на крайних, так как недостаток металла при образовании средних участков не может быть компенсирован металлом крайних участков.

При схеме расчета от исходной заготовки к готовому профилю все неточности расчета по переходам сказываются на размерах и форме крайних участков и меньше – на средних участках профиля.

Расчет калибровки валков осуществлялся по методике, изложенной в справочнике [1]. При этом обнаружилось, что данный источник не содержит сведений достаточных для

определения расстояния между центрами дуг мест изгиба при формовке смыкающихся полок. Нет рекомендации по определению ширины калибров, исходя из условия захода переднего конца полосы в калибр без смятия или среза формируемых кромок. Нет достаточно четких рекомендаций по выбору углов подгибки. Для расчета некоторых элементов валков приведены неверные формулы. Таким образом, существующие исходные данные требуют дополнительных исследований, а создаваемые системы калибровок итерационных корректировок.

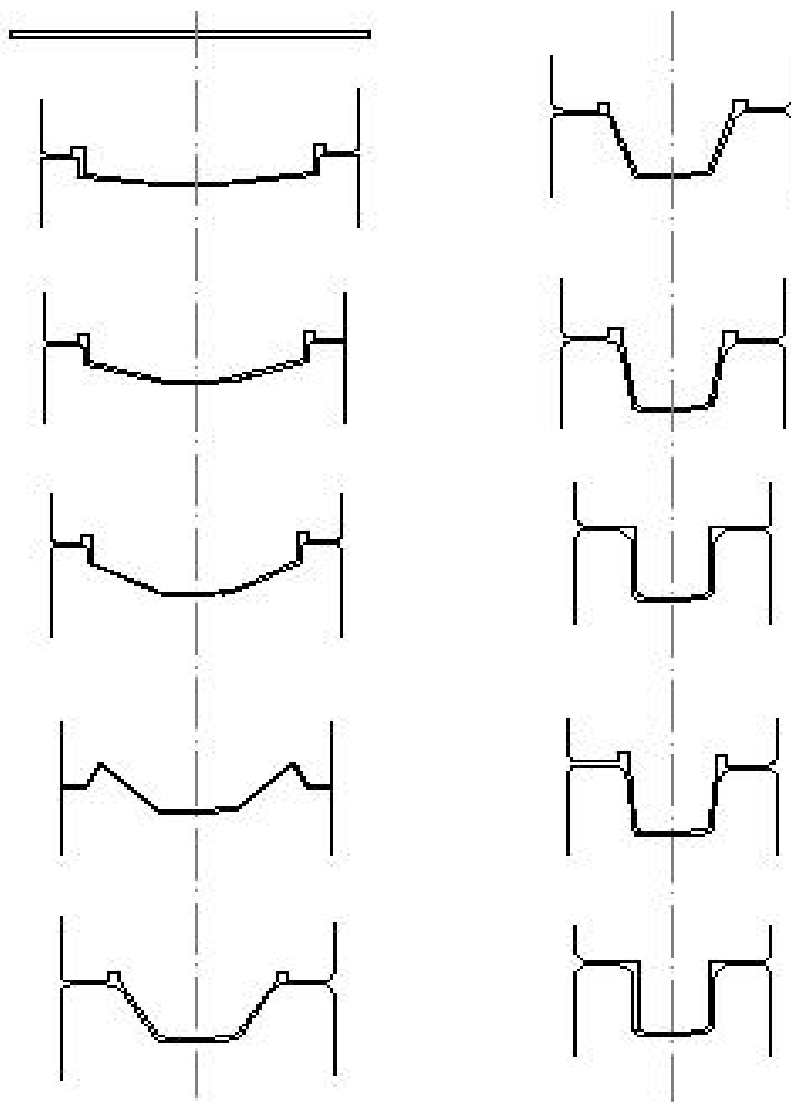


Рисунок 2 Технологические переходы

Литература

- 1 Производство и применение гнутых профилей проката. Справочник Под ред. И.С.Тришевского. М.:»Металлургия», 1975. – 536 с.

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЗАТРАТ ЗА ЦИКЛ РАБОТЫ КРИВОШИПНОГО ПРЕССА

Ревин В.В.- студент гр. ОМД-21

Зубанова И.В.- студент гр. ОМД 21

Собачкин В.В.- к.т.н., доцент

В настоящее время выделяют два режима работы кривошипного пресса. Это работа на автоматических и одиночных ходах [1]. При анализе цикла работы пресса рассматривают этап рабочего хода и этап холостого хода. Соответственно работа за цикл кривошипного пресса состоит из затрат энергии на выполнение этих этапов: $A_{ц} = A_{о} + A_{х}$, где $A_{о}$ - работа выполнения технологической операции, $A_{х}$ - работа холостого хода.

Особенностью работы кривошипного пресса является неравномерный расход энергии за цикл. Это предопределено пиковым характером приложения полезного сопротивления и разгоном ведомых частей привода при включении муфты (в случае работы пресса в режиме одиночных ходов). В эти периоды энергию отдает не только электродвигатель, но и маховик, который обязательно входит в ведущую часть привода любого механического пресса. Угловая скорость маховика в этот период уменьшается (рисунок 1). В остальное время рабочего цикла расход энергии идет на:

1. преодоление сопротивления вращению валов;
2. перемещение деталей исполнительного механизма;
3. пополнение энергии, потерянной маховиком.

Общий расход энергии при работе пресса в режиме одиночных ходов за время выполнения технологической операции A_0 состоит из работы технологической операции на ползуне машины без учета упругости и трения $A_{т.и.}$, работы на ползуне, затраченной на деформацию деталей пресса $A_{упр}$, работу включения муфты и разгона ведомых частей привода A_m .

Энергетические затраты на выполнение работы холостого хода A_x учитывают работу, затрачиваемую на холостое вращение маховика при отключенной муфте $A_{х.м.}$, работу, затрачиваемую на функционирование вспомогательных механизмов A_v и работу холостого хода при автоматической работе машины $A'x$.

Численный анализ этих энергозатрат для гаммы кривошипных прессов показал следующие результаты (таблица 1)

Таблица 1

Ат.и.	Аупр	Ам	Ах.м.	Ав	А'х
15 ... 20%	2 ... 5%	50 ... 55%	0,1 ... 0,4%	3 ... 5%	21 ... 26%

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- основные затраты энергии при работе кривошипного пресса в режиме одиночных ходов заключаются в разгоне ведомых частей привода при включении муфты на каждом цикле работы;
- резервом повышения экономичности кривошипного пресса является конструктивная его схема, предполагающая уменьшение величины ведомых масс, вплоть до перехода к муфтам включения, встроенным в ползун.

1 Надеев Л.Т., Никонов Н.М. Кривошипные прессы. Основы проектирования: / Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова.- Барнаул: Из-во Алт.гос.техн.ун-та, 1997.- 149с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ОТДЕЛЕНИИ МЕРНЫХ ЗАГОТОВОК СКРУЧИВАНИЕМ

Напалков А.В. – студент гр. ОМД 11
Карпов С.В. – к.т.н., доцент

Получение заготовки для накидной гайки- элемента форсунки может быть реализовано различными способами. Нами выбран вариант безотходной технологии, заключающийся в получении заготовок из трубы методом скручивания. Для успешного осуществления данной операции на трубной заготовке должна быть нанесена канавка с коническими боковыми

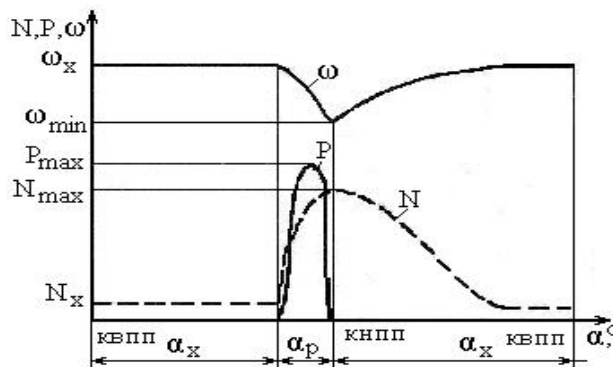


Рисунок 1- Изменение энергетических и кинематических параметров привода кривошипного пресса за цикл его работы ω - угловая скорость маховика; N – мощность электродвигателя; P – усилие деформирования заготовки
КВПП- крайнее верхнее положение ползуна;
КНПП - крайнее нижнее положение ползуна
 α_p – рабочий угол операции; α_x холостой угол операции

поверхностями. Получение канавки предлагается осуществлять по средствам трех прокатываемых по наружной поверхности трубы роликов, развёрнутых на 120° относительно друг друга.

Определение силовых параметров возникающих при осуществлении того или иного процесса ОМД является первостепенной задачей при разработке технологического процесса. Ниже приводится описание весьма простого, наш взгляд, инженерного метода позволяющего

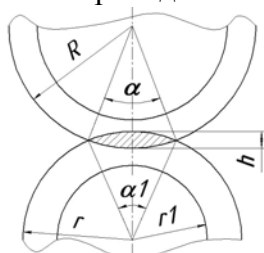


Рис.1

определить силовые параметры возникающие при осуществлении описанного выше процесса.

В теории ОМД усилие потребное для внедрения ролика в деформируемое тело в любой момент времени можно определить по следующей формуле $p_{вн.} = k \cdot z \cdot F_{\Pi} \cdot \sigma_s$, где значение коэффициента k характеризующего напряжённое состояние примем равным единице, поскольку его истинное значение определяется экспериментально. Площадь поверхности контакта ролика с заготовкой, при максимальной глубине его внедрения:

$$F_{\Pi} = [\pi/360 \cdot (R^2 \cdot \alpha + r^2 \cdot \alpha_1) - (R \cdot \cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2) + r \cdot \cos(\alpha_1/2) \cdot \sin(\alpha_1/2))] / \cos(\beta/2)$$

где в соответствии со схемой, приведённой на рис.1, R- радиус ролика, r- радиус трубы, α_1 и α_2 - углы задающие площадь сектора перекрытия ролика и трубной заготовки, β - угол рабочего конуса ролика (рис.2), а z-число роликов. Соппротивление деформации $\sigma_s = m \cdot \epsilon^n$, где m, n-коэффициенты. Среднюю степень деформации, относительно

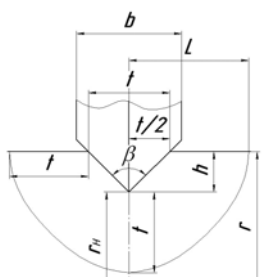


Рис.2

границы её очага определяем как $e = \sqrt{e_r^2 + e_1^2} / 4$. Вертикальную составляющую примем как величину определяемую от радиуса деформируемого тела r и радиуса по максимально заглубленной точке инструмента r_{Π} по зависимости $\epsilon_r = \ln(r/r_{\Pi})$. Горизонтальную оставляющую представим как параметр, зависящий от величин $t = 2h \cdot \tan(\beta/2)$ и $L = 1.5 \cdot t$, характеризующих размер пластической зоны (Рис. 2) и равный $\epsilon_1 = \ln(t/L)$, исходя из основ теории линий скольжения.

Момент необходимый для осуществления процесса скручивания мерной заготовки определяем по следующей зависимости: $M_{ск} = F \cdot \tau_s \cdot (r-h)$, где $F = \pi((r-h)^2 - r_{\Pi}^2)$ -площадь поперечного сечения заготовки после накатки фаски, $\tau_s = 0.57 \cdot \sigma_s$, h- глубина канавки.

Пример: Определить силовые параметры, необходимые для осуществления процесса отделения заготовок скручиванием. Заготовка- труба 25x4.5, материал-сталь 45. Накатывание канавки выполняется головкой с тремя роликами развёрнутыми на 120° друг относительно друга. Ширина ролика $b = 10$ мм, глубина канавки $h = 2$ мм, угол рабочего конуса ролика $\beta = 90^\circ$. Параметры зоны перекрытия рабочей площади ролика с заготовкой: $\alpha = 39^\circ$, $\alpha_1 = 48^\circ$.

Расчёт: Усилие необходимое для внедрения роликов:

$$\epsilon_r = \ln(12.5/10.5) = 0.174; \quad t = 2 \cdot 2 \cdot \tan(90/2) = 4 \text{ мм}; \quad L = 1.5 \cdot 4 = 6 \text{ мм}; \quad \epsilon_1 = \ln(4/6) = -0.4;$$

$$e = \sqrt{0.174^2 + (-0.4)^2} / 4 = 0.1; \quad \sigma_s = 1000 \cdot 0.1^{0.174} = 670 \text{ МПа};$$

$$F_{\Pi} = \left[\frac{\pi}{360} (15^2 \cdot 39 + 12.5^2 \cdot 48) - (15 \cdot \cos(39/2) \cdot \sin(39/2) + 12.5 \cdot \cos(48/2) \cdot \sin(48/2)) \right] / \cos(90/2) = 13.76 \text{ мм}^2$$

$$p_{вн.} = 3 \cdot 13.76 \cdot 670 = 27.657 \text{ кН}$$

Момент скручивания: $\tau_s = 0.57 \cdot 670 = 382$ МПа; $F = \pi((12.5-2)^2 - 8.3^2) = 129.87$ мм²;

$$M_{ск} = 129.87 \cdot 382 \cdot (12.5-2) = 447 \text{ Нм}$$