

Министерство высшего, среднего специального
и профессионального образования БССР
Белорусский политехнический институт

На правах рукописи

Инженер ФИЛИМОНОВ Ю.Ф.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МНОГОПЕРЕХОДНОГО
РЕДУЦИРОВАНИЯ В ЖЕСТКИХ МАТРИЦАХ

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
доцент, кандидат тех-
нических наук

Н.Т.ДЮРДИЕВ

Минск, 1964

Направляем Вам для ознакомления автореферат диссертации инженера Ю.Ф.Филимонова. С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале научных работников Белорусского политехнического института за 10 дней до защиты, о чем будет опубликовано в газете "Звезда" или "Советская Белоруссия".

Отзывы просим направлять по адресу: г.Минск, 27, Ленинский проспект, 65, Белорусский политехнический институт, ученому секретарю Совета.

Защита предполагается

22 мая
5 июня

1964 г.

Дата отправки автореферата

15.04

1964 г.

Ученый секретарь Совета

Е.А. Аксенов

(доцент Е.А. АКСЕНОВ)

Важным фактором, обеспечивающим выполнение поставленных XXII съездом КПСС задач в области развития машиностроения, является внедрение в промышленность новых прогрессивных методов металлообработки. К их числу относятся процессы холодной объемной штамповки: холодное прессование, редуцирование и др.

Предлагаемая работа посвящена изучению процесса многопереходного редуцирования в жестких матрицах. Проведенное исследование и достигнутые результаты позволяют осуществлять промышленное внедрение процессов редуцирования ряда распространенных машиностроительных деталей.

Экспериментальные работы по исследованию процесса многопереходного редуцирования выполнены в лабораториях Экспериментального научно-исследовательского института кузнечно-прессового машиностроения — ЭНИКМАШа.

Состояние вопроса и задачи исследования

Процесс редуцирования в жестких конических матрицах имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими видами обработки прямоосных ступенчатых деталей. Эти преимущества состоят в уменьшении расхода металла, повышении производительности труда, увеличении прочности и долговечности деталей.

Однако процесс редуцирования в жестких матрицах не находит в настоящее время широкого применения в промышленности. Это объясняется тем, что значительное количество крупных деталей (валов, осей и т.п.) требует многопереходного редуцирования. Последнее же изучено и освоено недостаточно.

Сущность процесса редуцирования в жесткой конической матрице заключается в уменьшении поперечного сечения и одновременно удлинении сплошной заготовки в результате проталкивания ее через калибрующее отверстие матрицы.

Изучение напряженно-деформированного состояния при формоизменении металла в конической матрице связано в первую очередь с определением рабочих усилий и величин деформации заготовки.

Решению такого рода задач посвящено значительное количество работ. Однако решения, доведенные до числового результата, получены лишь для отдельных простейших случаев. Это объясняется тем, что совместное решение дифференциальных уравнений равновесия, уравнений пластичности, уравнения несжимаемости и дифференциальных уравнений связи между напряжениями и перемещениями вызывает серьезные трудности. Поэтому при решении задач обработки металлов давлением различными методами прибегают к упрощающим допущениям. Однако эти допущения приводят в ряде случаев к значительным ошибкам.

В последние годы начинает применяться метод расчета усилий и деформаций, основанный на экстремальных принципах теории пластичности. Использование данного метода (в отличие от метода главных напряжений, метода характеристик) облегчает решение задач, так как при этом значительно сокращается число условий, которым должны отвечать основные уравнения: при решении в перемещениях—граничным условиям в перемещениях и условию несжимаемости; при решении в напряжениях—уравнениям равновесия, условию пластичности и граничным условиям в напряжениях.

Развитие этого метода и его практическое приложение к процессу многопереходного редуцирования будет способствовать

улучшению существующих способов расчета усилий и деформаций.

Возможность осуществления процесса редуцирования, характер его протекания и качество получаемых деталей определяется рядом технологических факторов: степенью деформации, контактным трением, геометрией инструмента, упрочнением материала, схемой закрепления заготовки.

Влияние перечисленных факторов при многопереходном редуцировании изучено недостаточно, что затрудняет внедрение этого процесса в промышленность. В работе дан анализ влияния каждого фактора.

Цель работы — исследование процесса многопереходного редуцирования в жестких матрицах, определение параметров процесса, разработка схем и конструкций штампов и прессов, обеспечивающих его промышленное внедрение.

В задачи исследования входило: проведение анализа деформации в жесткой конической матрице и определение максимальной степени деформации и усилия на каждом переходе; разработка методики учета упрочнения при многопереходном редуцировании; определение эффективности различных видов смазок; изучение влияния геометрии инструмента на предельные деформации, усилия редуцирования и точность деталей; изучение механических характеристик материала и его структуры после многопереходного обжатия; разработка и исследование промышленных схем многопереходного редуцирования; разработка штампов и параметров оборудования для его осуществления; проведение технико-экономического анализа процесса многопереходного редуцирования.

Анализ процесса деформирования в жесткой конической матрице

Процесс деформации в жесткой конической матрице характеризуется наличием пяти основных зон: жесткой недеформированной зоны, переходной зоны от упругих к пластическим деформациям, зоны основных пластических деформаций, переходной зоны от пластических деформаций к упругим, жесткой упрочненной зоны.

Решение задачи деформирования в конической матрице на основе экстремальных принципов с получением верхней оценки сводится к построению кинематически возможного поля перемещений в зоне основных деформаций и определению работы внешних и внутренних сил. Для упрощения решения влияние переходных зон может быть учтено сдвигами по соответствующим поверхностям.

Решая равенство работ внешних и внутренних сил и производя преобразования, соответствующие предельному случаю редуцирования (входной угол матрицы $2\alpha = 30^\circ$), получим, что максимальная степень деформации на n -ном переходе определяется формулой

$$\epsilon_{\max} = K_1 \frac{\tau_{n-1}}{\tau_{\text{ср}n}} - K_2, \quad (I)$$

где $\epsilon_{\max} = 2\ln \frac{\tau_{n-1}}{\tau_n} = 2\ln \frac{d_{n-1}}{d_n}$ - максимальная степень деформации заготовки;

- $\tau_{n-1}; d_{n-1}$ - радиус, диаметр заготовки до деформации;
- $\tau_n; d_n$ - радиус, диаметр заготовки после деформации;
- τ_{n-1} - предел текучести деформируемой части заготовки;
- $\tau_{\text{ср}n}$ - среднее сопротивление деформированию в очаге деформации;
- K_1, K_2 - коэффициенты, значение которых зависит от величины коэффициента трения и калибрующего пояска матрицы

$$(K_1 = 0,7 + 0,8; \quad K_2 = 0,18 + 0,26).$$

Из формулы (I) вытекает, что величина предельной деформации при редуцировании определяется отношением $\frac{\sigma_{T_{n-1}}}{\sigma_{T_{срп}}}$. С увеличением числа переходов редуцирования $\sigma_{T_{n-1}}$ и $\sigma_{T_{срп}}$ возрастают. При этом $\sigma_{T_{n-1}}$ приближается к $\sigma_{T_{срп}}$. Отсюда следует, что с увеличением числа переходов предельно допустимая степень деформации имеет тенденцию к увеличению

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3 \dots < \varepsilon_n \\ \Delta \varepsilon_1 < \Delta \varepsilon_2 < \Delta \varepsilon_3 \dots < \Delta \varepsilon_n \end{aligned} \quad \text{или} \quad (2)$$

При $\frac{\sigma_{T_{n-1}}}{\sigma_{T_{срп}}} \longrightarrow 1$ предельная относительная деформация $\Delta \varepsilon = 1 - \frac{\sigma_{T_{срп}}^2}{\sigma_{T_{n-1}}^2}$ на n -ом переходе стремится к 0,35 (при коэффициентах контактного трения $\mu = 0,1$).

Установлено, что характер и величина упрочнения при редуцировании одинаковы с упрочнением при испытании на сжатие образцов с торцовыми выточками. Кривая упрочнения при испытании на сжатие может быть представлена в виде двух прямолинейных участков $\Delta \varepsilon = 0+0,25$ и $\Delta \varepsilon = 0,25+0,75$.

Предел текучести на первом участке определяется уравнением:

$$\sigma_{T_1} = \sigma_{T_0} + \psi_1 \Delta \varepsilon_1, \quad (3)$$

на втором участке

$$\sigma_{T_2} = \sigma_{T_1} + \psi_2 \Delta \varepsilon_2, \quad (4)$$

где ψ_1 и ψ_2 - коэффициенты упрочнения на соответствующих участках кривой упрочнения;

σ_{T_0} - предел текучести металла в отоженном состоянии.

Из условия подобия деформации каждого элементарного слоя в конической матрице и линейного закона упрочнения при перемещении этого слоя вдоль оси матрицы среднее сопротивление в очаге деформации составляет для первого перехода

$$\sigma_{T_{срп}} = \sigma_{T_0} + 0,5 \psi_1 \Delta \varepsilon_1, \quad (5)$$

для второго

$$\sigma_{\tau_{cp2}} = \sigma_{\tau_0} + \psi_1 \Delta \varepsilon_1 + 0,5 \psi_2 \Delta \varepsilon_2, \quad (6)$$

для n -ного перехода

$$\sigma_{\tau_{cpn-3,4,\dots}} = \sigma_{\tau_0} + \psi_1 \Delta \varepsilon_1 + \psi_2 \Delta \varepsilon_2 + \dots + 0,5 \psi_n \Delta \varepsilon_n. \quad (7)$$

Используя выражения (1) и (5), (6), (7), получим формулы для расчета предельных деформаций за каждый переход, которые можно осуществить при многопереходном редуцировании:

$$\varepsilon_{max_1} = K_1 \frac{\sigma_{\tau_0}}{\sigma_{\tau_0} + 0,5 \psi_1 \Delta \varepsilon_1} - K_2, \quad (8)$$

$$\varepsilon_{max_2} = K_1 \frac{\sigma_{\tau_1}}{\sigma_{\tau_0} + \psi_1 \Delta \varepsilon_1 + 0,5 \psi_2 \Delta \varepsilon_2} - K_2, \quad (9)$$

$$\varepsilon_{max_{n-3,4,\dots}} = K_1 \frac{\sigma_{\tau_{n-1}}}{\sigma_{\tau_0} + \psi_1 \Delta \varepsilon_1 + \psi_2 \Delta \varepsilon_2 + \dots + 0,5 \psi_n \Delta \varepsilon_n} - K_2. \quad (10)$$

Разработанные формулы использованы для построения номограммы предельных (минимальных) диаметров ступеней деталей.

Экспериментальные исследования

Цель экспериментальных исследований заключалась в проверке теоретических положений, разработке оптимальных параметров процесса и промышленных схем многопереходного редуцирования.

В экспериментах использованы заготовки из конструкционных сталей, которые разбиты на три группы: стали с низким пределом текучести (мягкие) - 10, 15; стали со средним пределом текучести (средней твердости) - 20, 20Х; стали с высоким пределом текучести (твердые) - 45, 40Х. Заготовки для экспериментов изготавливались диаметром 12, 15, 26, 36 и 75 мм.

Работы проводились на испытательных машинах ГМС-50, ЦДМ

Пу-200, гидравлическом прессе П-457 и кривошипно-коленном прессе К846Б. Для измерения усилий редуцирования на гидропрессе использовалась осциллографическая аппаратура и тензометрические датчики сопротивления.

Редуцирование на испытательных машинах и гидропрессе производилось в специальных экспериментальных штампах, на кривошипно-коленном прессе—в штампе-автомате промышленного типа. Измерение величин искривления редуцированной части детали производилось в призмах или патроне путем замера стрелы прогиба или биения; величина осадки свободной части заготовки при определении предельной деформации замерялась с помощью микрометра. Макро- и микроструктура деталей изучалась на микроскопах ФМН-2 и МИМ-7. Величина остаточных напряжений первого рода определялась обратным методом в камере I КРОС при кобальтовом излучении.

Для повышения достоверности получаемых данных каждый эксперимент повторялся 5-10 раз. При исследовании точности деталей проводилось 40-50 экспериментов по каждому виду заготовки и инструмента.

Результаты экспериментов представлены в виде графиков, таблиц, осциллограмм.

В процессе экспериментальных работ установлено, что учет упрочнения при многопереходном редуцировании может производиться по данным испытаний на сжатие образцов с торцовыми выточками.

Разработана схема редуцирования с применением контейнера, устраняющая потерю продольной устойчивости заготовки.

Изучено влияние различных видов смазок на процесс редуцирования (различных масел без наполнителей и с наполнителями,

мыльных и известковых растворов, поливинилбутиралевого покрытия, фосфатирования). Подтверждены преимущества фосфатирования с омыливанием.

Изучено влияние величины входного угла 2α матрицы на усилие редуцирования и величину максимальной деформации. Определен оптимальный по усилию угол матрицы (он составляет $8 + 12^\circ$). Максимальный угол 2α , при котором еще не наблюдается утолщения и осадки заготовки перед входом в очаг деформации, составляет 30° .

Предельная степень деформации $\Delta \varepsilon$ на каждом переходе редуцирования меняется в зависимости от марки стали и числа переходов. Она увеличивается с повышением предела текучести

σ_{T_0} материала (с применением более твердых сталей) и ростом числа переходов. Отмечено, что на первом и втором переходе предельные деформации составляют 0,25–0,29 (стали 10,45), на третьем и четвертом – 0,30–0,33, что подтверждает теоретические положения. Достигнутые высокие степени деформации за каждый переход позволяют производить редуцирование деталей до общей степени деформации 0,65–0,75 за 3–4 перехода, вместо 7–8 по существующим рекомендациям.

Кривизна детали после редуцирования не меняется при изменении степени деформации в пределах $\Delta \varepsilon = 0,1 + 0,30$, числа переходов и марки стали. Однако она меняется с изменением высоты калибрующего пояска, конфигурации выходной части матриц и диаметра исходной заготовки. Существенно уменьшить кривизну деталей с помощью увеличения высоты пояска матриц не удастся, так как при $h - d$ значительно растут усилия редуцирования.

Как показали исследования, при использовании матриц, имеющих направляющую часть после калибрующего пояска, кривизна де-

талей уменьшается в 2-3 раза.

С увеличением диаметра исходной заготовки с 15 мм до 36 мм (при равных прочих условиях) кривизна редуцированной части детали уменьшается более чем в 2 раза.

С дальнейшим увеличением диаметра заготовки уменьшение кривизны идет менее интенсивно.

В результате обработки полученных данных построены графики предельной кривизны для различных диаметров заготовок, которые показали, что при редуцировании заготовок малых диаметров отношение высоты пояска к диаметру $\frac{h}{d}$ с целью повышения точности деталей должно выбираться в пределах 0,5-0,7. Для больших диаметров (26 и 36 мм) отношение $\frac{h}{d}$ не должно быть менее 0,3-0,4. Относительная кривизна (кривизна, отнесенная к длине) деталей, полученных при таких условиях, не превышает 0,007-0,0035.

Упругая деформация детали и матрицы составляет 0,22±0,44 процента относительно диаметра ступени, что соответствует допускам I-2 классов точности под накатку резьбы.

По сравнению с кривизной детали величина упругой деформации невелика и может в практических условиях не учитываться.

Устранение влияния упругой деформации детали и инструмента достигается заведомым уменьшением калибрующего отверстия матрицы.

Класс чистоты поверхности деталей после редуцирования фосфатированных омыленных заготовок независимо от числа переходов составляет ∇ IO - ∇ II.

Макро- и микроструктура материала деталей после многопереходного редуцирования аналогична этим структурам после холод-

ного прессования до той же степени деформации, однако неравномерность деформации заготовок по сечению меньше, чем после прессования. Неравномерность деформации в неустановившейся стадии многопереходного редуцирования (в стадии заполнения конусной и калибрующей части матрицы) приводит к образованию вогнутого торца. Удаление вогнутости торцов производится подрезкой заготовок на несколько миллиметров.

С увеличением числа переходов и общей степени деформации происходит повышение механических характеристик σ_r и σ_c материала заготовок. После первого перехода ($\Delta \varepsilon = 0,25$) предел прочности σ_c увеличивается в 1,7–1,2 раза (большие значения соответствуют группе мягких сталей, меньшие – группе твердых сталей), после второго ($\Delta \varepsilon = 0,45$), третьего ($\Delta \varepsilon = 0,60$), четвертого ($\Delta \varepsilon = 0,70$) соответственно в 2,1–1,5; 2,4–1,7; 2,5–1,8 раза. Предел текучести σ_{T_0} увеличивается при тех же условиях в 3,5–1,7; 5+2; 5,5+2,5; 6+3 раза.

Величина остаточных напряжений первого рода после многопереходного редуцирования до $\Delta \varepsilon = 0,60$ – $0,70$ менее предела текучести упрочненного материала.

Установлено, что в результате окончательной механической обработки ступенчатых заготовок (прорезка канавок, шпоночного паза, проточка, шлифовка) потери точности деталей не происходит, независимо от того, подвергались ли они термической обработке для снятия напряжений или нет.

После месячного старения детали сохранили точность, полученную при механической обработке.

Достигнутые при экспериментальном исследовании результаты позволили разработать способ двухстороннего редуцирования заготовок за один ход пресса. Этот способ был проверен на мо-

делях и конкретных представителях валов электродвигателей. Проверка экспериментальных и теоретических зависимостей при двухстороннем редуцировании подтвердила достоверность сделанных выводов и полученных данных.

Разработанный технологический процесс получения исходной заготовки методом редуцирования обеспечивает экономичность изготовления ступенчатых деталей.

Создан и испытан специальный штамп-автомат для двухстороннего многопереходного редуцирования ступенчатых валов небольших электродвигателей. Технологическая и кинематическая схемы работы штампа положены в основу разработанного технического предложения на пресс-автомат для двухстороннего редуцирования заготовок валов электродвигателей.

Анализ полученных данных

Экспериментальные исследования подтвердили достоверность принятого равенства $(\frac{d_1^2 - d_2^2}{d_1^2})_{ред} = (\frac{D^2 - D_0^2}{D^2})_{осадки}$ и показали возможность учета упрочнения при многопереходном редуцировании с помощью кривых, полученных испытанием на сжатие образцов с торцовыми выточками.

В результате обработки экспериментальных данных определены коэффициенты (модули) ψ_1 и ψ_2 линеаризованных кривых упрочнения конструкционных сталей, которые составляют:

Группа сталей	Марки сталей	Среднее значение для групп сталей в отожженном состоянии	
		ψ_1	ψ_2
Мягкие	10; 15	110	50
Средней твердости	20; 20X	150	55
Твердые	45; 40X	200	65

Коэффициенты φ_1 и φ_2 определены как отношение приращения предела текучести в кг/мм² к приращению относительной деформации $\Delta \varepsilon$.

На основе этих данных составлены уравнения линеаризованных кривых упрочнения для группы мягких (10, 15), средней твердости (20, 20X и др.) и твердых (45, 40X и др.) сталей.

Эти уравнения определяют ход кривых упрочнения на участках $\Delta \varepsilon = 0 - 0,25$ и $\Delta \varepsilon > 0,25$.

Полученные экспериментальные данные по предельным деформациям за каждый переход свидетельствуют о достоверности уравнений (1), (8), (9), (10).

Установлено, что влияние предела текучести исходного материала на предельные деформации невелико: различие в предельных деформациях мягких (ст. 10) и твердых (ст. 45, 40X) сталей не превышает $\Delta \varepsilon = 0,03 - 0,05$.

Условия трения и высота пояска матрицы (при соблюдении заданных режимов смазки и размеров пояска) изменяют коэффициенты K_1 и K_2 в формуле (1) несущественно. Это позволяет в практических расчетах использовать средние значения коэффициентов $K_1 = 0,75$ и $K_2 = 0,22$.

На основе формул (8), (9), (10) построена номограмма для определения минимальных диаметров ступеней заготовок по переходам, которые возможно достичь при общей деформации $\Delta \varepsilon_{\text{общ}} = 0,65 - 0,75$, и числа переходов.

Из уравнения (1) получены формулы для расчета удельных давлений (средних осевых напряжений), действующих на торец или в поперечном сечении заготовки (для предельных условий).

Для первого перехода

$$q_1 = \frac{G_0 + 0,5\varphi_1(1 - \frac{z_1^2}{z_0^2})}{K_1} (2\ln \frac{z_0}{z_1} + K_2), \quad (II)$$

для второго перехода

$$q_2 = \frac{G_0 + \varphi_1(1 - \frac{z_1^2}{z_0^2}) + 0,5\varphi_2(1 - \frac{z_2^2}{z_1^2})}{K_1} (2\ln \frac{z_1}{z_2} + K_2), \quad (I2)$$

для n -ного перехода

$$q_{n=3,4,\dots} = \frac{G_0 + \varphi_1(1 - \frac{z_1^2}{z_0^2}) + \varphi_2(1 - \frac{z_2^2}{z_1^2}) + \dots + 0,5\varphi_n(1 - \frac{z_n^2}{z_{n-1}^2})}{K_1} (2\ln \frac{z_{n-1}}{z_n} + K_2) \quad (I3)$$

Здесь z_0 и $z_1; z_2; \dots; z_n$ — радиус исходной заготовки и радиусы ступеней деталей по переходам.

Расчеты по формулам (II), (I2), (I3) удовлетворительно совпадают с опытными данными.

Кроме того, для определения удельных давлений (средних осевых напряжений), действующих в исходном сечении заготовки, построены по экспериментальным данным графики для различных марок сталей и степеней деформации.

Полученные данные по кривизне деталей соответствуют длинам редуцированной части $\ell < 100$ мм.

При длинах редуцированной части $\ell > 100$ мм относительная кривизна y/ℓ уменьшается. Поэтому при назначении припуска на последующую обработку следует пользоваться представленными в работе поправочными коэффициентами $n = 0,95 + 0,80$. Относительная кривизна при $\ell > 100$ мм определяется как $n y/\ell$.

Установлено, что количество деталей с относительной кривизной $y/\ell > 0,003$ не превышает в общем объеме деталей $5 + 18$ процентов, что благоприятно для последующей механической обработки. Построены гистограммы распределения деталей по кривизне.

Произведенный технико-экономический анализ изготовления методом многопереходного редуцирования ступенчатых валов электро-

двигателей единой серии А2 и А02 I-У габаритов подтвердил экономичность процесса редуцирования.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выполненное исследование процесса многопереходного редуцирования в жестких матрицах и установленные геометрические и силовые зависимости обеспечивают разработку и осуществление технологических процессов изготовления деталей методом многопереходного редуцирования в производственных условиях.

2. На основе качественного и количественного анализа, базирующегося на экстремальных принципах теории пластичности, разработана методика определения предельной степени деформации и усилия на каждом переходе редуцирования в жесткой конической матрице.

Разработаны формулы (8)-(10) и номограммы для определения предельных размеров деталей. По экспериментальным данным построены графики для определения удельных давлений (средних осевых напряжений). Разработаны формулы (II)-(13) для определения средних осевых напряжений (давлений) по переходам.

3. Формулы (8)-(10) и (II)-(13), полученные на основе экстремальных принципов (решение в перемещениях), подтверждаются экспериментальными данными и доказывают приемлемость упрощающих допущений: применения приближенного уравнения интенсивности деформации, линеаризации кривой упрочнения; принятого поля перемещений и учета переходных зон.

4. При расчете деформаций и усилий редуцирования существующие методы учета упрочнения могут привести к значительным ошибкам, особенно на первом переходе редуцирования ($\Delta \varepsilon < 0,25$).

Разработанная методика учета упрочнения по данным испытаний на вжатие применительно к процессу многопереходного редуцирования обеспечивает удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными.

5. Редуцирование с применением различных видов смазок подтвердило преимущества цинкового фосфатирования с последующим омыливанием.

Редуцирование без смазки или со смазкой маслами (без примесей или с наполнителями) ведет к явлениям холодного приваривания, значительному увеличению усилий, осадке и потере продольной устойчивости незакрепленной части и не может быть рекомендовано в промышленных условиях.

6. Наиболее рациональной является схема редуцирования с установкой заготовки в контейнер. Характер сопряжения заготовки с контейнерами должен выдерживаться в пределах посадок $\frac{A}{X} + \frac{A}{X_3}$.

Редуцирование без контейнера следует применять при степенях деформации $\Delta \epsilon < 0,10-0,13$ и длинах заготовки менее $l_{n_{max}}$, определяемых из условия продольной устойчивости.

7. Методом многопереходного редуцирования до общей степени деформации $\Delta \epsilon_{общ} = 0,65-0,75$ могут обрабатываться мягкие, средней твердости и твердые конструкционные стали 10, 15, 20Х, 45, 40Х и им подобные без введения промежуточной термической обработки.

При редуцировании до деформации $\Delta \epsilon_{общ} > 0,65-0,75$ полуфабрикаты должны подвергаться термообработке для снятия остаточных напряжений и повышения пластичности.

8. Предельная степень деформации имеет тенденцию к увеличению от перехода к переходу.

На первом и втором переходах предельная степень деформации для исследованных марок стали достигает $\Delta \epsilon = 0,25-0,29$, на третьем и четвертом переходах $\Delta \epsilon = 0,30-0,33$.

Высокие степени деформации за переход позволяют интенсифицировать процесс редуцирования, так что общая степень деформации $\Delta \epsilon_{\text{общ.}} = 0,65-0,75$ может быть достигнута за 3-4 перехода, вместо 7-8 по существующим рекомендациям.

9. Определена оптимальная конструкция матриц, обеспечивающая получение деталей методом редуцирования с минимальными усилиями и небольшой кривизной.

Оптимальная по усилию конусная часть матрицы имеет угол $2\alpha = 8^\circ - 12^\circ$. Для уменьшения переходных конических участков на заготовках этот угол может быть увеличен до 30° .

Уменьшение кривизны детали достигается применением матриц с увеличенным по высоте калибрующим пояском h и направляющей частью.

10. Величина искривления редуцированной части заготовки не зависит от степени деформации, числа переходов и марки стали (из числа применявшихся) и существенно уменьшается с увеличением диаметра исходной заготовки.

Определение ожидаемой кривизны обжатой части заготовки может производиться с помощью графиков предельной кривизны, представленных в работе.

Относительная кривизна для заготовок исходного диаметра 15 мм не превышает 0,007, а для диаметров 26 и 36 мм - 0,0035. Для получения такой кривизны на заготовках малых диаметров (15 мм) относительная высота пояска матрицы h/d должна называться равной $0,5 + 0,7$, для больших диаметров (более 26 мм) h/d не должна быть менее 0,3-0,4.

Припуск на последующую механическую обработку должен составлять на диаметр $2 \frac{y}{e}$ при длине обработанной части до 100 мм и $2n \frac{y}{e}$ - при длине редуцированной части более 100 мм (где n - поправочный коэффициент, равный $0,95 + 0,80$).

Из всего объема обрабатываемых методом редуцирования заготовок количество деталей с кривизной $\frac{y}{e}$ более 0,003 не превышает 5-18%, что облегчает их последующую механическую обработку.

II. Макро- и микроструктура стальных заготовок после многопереходного редуцирования аналогична структуре после обработки до той же степени деформации за один переход (холодное прессование).

Повышение прочности деталей после редуцирования зависит от общей степени деформации: после первого перехода ($\Delta \varepsilon = 0,25$) предел прочности увеличивается в 1,7-1,2 раза (большие значения соответствуют мягким сталям - 10; 15; меньшие - твердым сталям - 45, 40X), после второго ($\Delta \varepsilon_{\text{общ}} = 0,45$), третьего ($\Delta \varepsilon_{\text{общ}} = 0,60$), четвертого ($\Delta \varepsilon_{\text{общ}} = 0,70$) переходов σ_b увеличивается соответственно в 2,1-1,5; 2,4-1,7; 2,5-1,8 раза.

Величина остаточных напряжений первого рода после многопереходного редуцирования заготовок из конструкционных сталей до общей степени деформации $\Delta \varepsilon_{\text{общ}} = 0,70$ остается менее предела текучести наклепанного металла и не вызывает появления трещин и коробления деталей после механической обработки и старения.

12. Установлена идентичность процесса многопереходного редуцирования с различными скоростями: на испытательных машинах, на гидравлическом прессе, на кривошипно-коленном прессе.

13. Экспериментально подтверждена возможность распростра-

нения полученных результатов (по предельным деформациям, усилиям редуцирования, геометрии инструмента и т.д.) на большие размеры деталей - до диаметров 75 мм.

14. Разработан и исследован способ двухстороннего много-переходного редуцирования прямоосных ступенчатых деталей, который может осуществляться в производственных условиях на универсальном оборудовании с ручной загрузкой и выгрузкой заготовок или в специальных штампах-автоматах и прессах-автоматах с полной автоматизацией процесса.

Создан и испытан специальный штамп-автомат для редуцирования небольших ступенчатых валов. Разработано техническое предложение на пресс-автомат для двухстороннего редуцирования валов электродвигателей.

15. Применение процесса многопереходного редуцирования в производстве ступенчатых валов электродвигателей I-У габаритов единой серии А2 и А02 снизит себестоимость изготовления валов на 10-20 процентов, сократит расходы металла на 6 тыс. тонн и даст экономию около 350 тыс. рублей в год.

ПЕРЕЧЕНЬ РАБОТ,
в которых опубликованы основные
положения диссертации

1. Георгиев Н.Т., Филимонов Ю.Ф. Исследование процесса многопереходного редуцирования в жестких матрицах. "Кузнечно-штамповочное производство", 1963, № 9.
2. Филимонов Ю.Ф., Михайленко Г.П. Двухстороннее редуцирование заготовок ступенчатых валов. "Кузнечно-штамповочное производство", 1963, № 8.
3. Филимонов Ю.Ф. Определение максимальной степени деформации при многопереходном редуцировании. Пластичность и обработка металлов давлением, АН БССР, Минск, 1964.

Отдельные положения опубликованы в книге Филимонова Ю.Ф. и Позняка Л.А. "Штамповка прессованием" (Издательство "Машиностроение", 1964).

Подписано к печати 8/IV-1964 г.

ЛЕ 01526 0,9 п.л. Заказ 79. Тираж 200

Отпечатано на ротапринте ЭНИКМАШа

Воронеж, 1964