

# НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАДИАЛЬНОЙ КОВКИ ЗАГОТОВОК ИЗ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ВЫСОКИМИ ОБЖАТИЯМИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ МАКРОСДВИГАМИ

УДК 621.73.042.001.24

**Б. П. Черный**

старший научный сотрудник, директор научно-производственного предприятия вакуумной металлургии конструкционных материалов «РУБИН», ул. Академическая, 1, г. Харьков, 61108

Контактный телефон (057) 335-18-08, e-mail: cherniy@kipt.kharkov.ua

**На основе анализа макропотоков металла и полей линий скольжения в очаге деформации разработана новая схема деформирования четырьмя бойками с дополнительными макросдвигами в поперечном сечении заготовки. Предложена методика расчета силовых параметров радиально-обжимной машины новой конструкции для деформации литых заготовок из благородных металлов.**

При производстве заготовок из драгоценных металлов и сплавов применяют различные способы обработки металлов давлением. К ним относятся: прокатка, прессование, волочение, свободная ковка на прессах и молотах, ротационная ковка на ротационно-ковочных машинах, объемная и листовая штамповка [1,2].

Наиболее перспективным процессом является четырехсторонняя радиальная ковка.

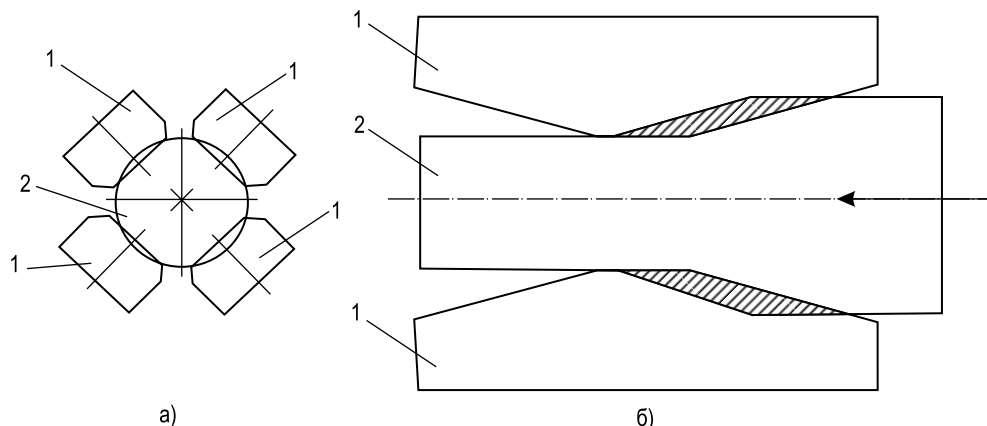
Традиционные технологии радиальной ковки на радиально-обжимных машинах (РОМ) таких известных во всем мире фирм как G. F. M. (Австрия) и Danieli (Италия), относятся к наиболее производительным процессам ковки слитков и заготовок. Однако качество металла, получаемого ковкой на РОМ, уступает качеству металла, получаемого ковкой на прессах. Оригинальность конструкции РОМ и ее деформирующего инструмента – бойков, заключается в том, что в процессе ковки практически исключается боковое уширение заготовки, при этом за счет большого количества малых единичных обжатий обеспечивается значительная степень деформации за проход (рис. 1).

Небольшая глубина проникновения бойка при единичном обжатии обуславливает локализацию деформации преимущественно в поверхностной зоне заготовки и более слабую проработку ее центральной зоны. Большая скорость течения металла вдоль оси в поверхностных слоях заготовки приводит к образованию глубоких торцевых утяжин (лунок), а также может приводить к образованию осевых растягивающих напряжений. Чем больше сечение поковки, тем в боль-

шей мере отстает проработка ее внутренних слоев. Это затрудняет заваривание при ковке внутренних дефектов слитка, а в отдельных случаях вызывает разрыхление или даже разрыв металла этой зоны поковки. Очевидно, что увеличение единичных обжатий является направлением совершенствования РОМ.

Другим недостатком известных РОМ является ламинарный характер течения металла вдоль оси поковки, без турбулентности и достаточного взаимного перемещения частиц металла друг относительно друга. Происходит более пассивное, однозначное течение металла вдоль оси поковки, чем при ковке на молотах или прессах, при которой благодаря уширению и значительным единичным деформациям создается большая турбулентность, улучшающая проработку структуры, а за счет структурных искажений повышается рекристаллизационная способность металла осевой зоны поковки при одних и тех же расчетных степенях вытяжки поковки.

Однако, для обеспечения гарантированного уровня физико-механических характеристик металла изделий, при



**Рисунок 1.** Схема деформации заготовки на РОМ: а) – поперечное сечение; б) – продольное сечение; 1 – бойки; 2 – заготовка.

ковке на молотах и прессах все же требуется достаточно высокая степень пластической деформации литых заготовок (коэффициент вытяжки  $\mu=5,5-6,5$ ). Это можно объяснить следующим образом.

Слитки металла, полученные различными металлургическими способами, обладают следующими элементами макростроения: несплошностью (порами и трещинами) усадочного происхождения, зональными скоплениями неметаллических включений (осевой и внеосевой ликвизией), крупными дендритами.

Основной деформационный эффект воздействия на все три перечисленных выше элемента макростроения металла связан с деформациями сдвигов в обрабатываемом металле [3].

Однако при пластическом деформировании традиционными способами (прокаткой, прессованием, ковкой на молотах, прессах, РОМ и др.) заготовке сообщают нормальные деформации сжатия или растяжения, а деформации сдвига развиваются в металле как следствие нормальных деформаций. Расчеты, выполненные профессором Тюриным В. А., показывают, что деформации сдвига оказываются в 8 раз эффективнее нормальных деформаций, оцениваемых традиционным коэффициентом вытяжки  $\mu$  [3]. Проблема заключалась в создании оборудования, способного реализовать преимущества макросдвиговых деформаций.

В связи с тем, что четырехбойковая схема обжатия заготовки обеспечивает максимальную производительность и получение заготовок без поверхностных дефектов, при разработке новой технологии эта схема была выбрана в качестве базовой.

По разработанной технологии гарантированное получение высокого качества металла обеспечивается за счет:

1. Увеличения единичных обжатий в 10-30 раз по сравнению с обжатиями при ковке на обычной РОМ и составляющих 10-50 %.
2. Осуществления нормальных и дополнительных сдвиговых деформаций в поперечном сечении заготовки.
3. Оптимизации скоростей деформации и деформирования заготовки.

Высокие обжатия заготовки обеспечивают большую глубину проникновения напряжений и деформаций, что улучшает проработку металла поковки в центральной зоне. Чем больше степень деформации (при единичных обжатиях), тем лучше осуществляется проработка литой структуры металла в осевой зоне и тем выше производительность процесса. Ограничения для величины степени деформации являются максимальное усилие РОМ и технологическая пластичность металла.

На основе анализа макропотоков металла и полей линий скольжения в очаге деформации разработана новая схема деформирования четырьмя бойками с дополнительными макросдвигами в поперечном сечении заготовки (рис. 2).

Усилия сдвига заготовки в тангенциальных направлениях осуществляют одной парой бойков. При этом, за счет специальной схемыковки сдвиговыми деформациями осуществляют проработку всего объема заготовки. В том случае, когда требуется увеличить пластические и прочностные свойства металла в тангенциальном направлении, произво-

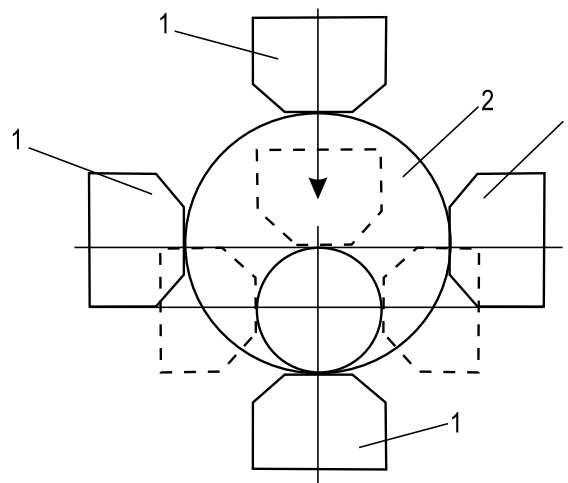


Рисунок 2. Схема деформации заготовки с макросдвигами (поперечное сечение): 1 – бойки, 2 – заготовка.

дят ковку со сдвигами по специальным режимам, обеспечивающим закручивание волокон макроструктуры металла.

Глубина проработки металла поковки зависит от скорости движения бойка и от физических характеристик материала. Чем выше его упругие характеристики и менее выражена вязкость, тем больше его способность передавать деформирующее напряжение в глубинные слои поковки, больше скорости проникновения напряжений, передаваемые бойком. Наоборот, повышение вязкости материала способствует большему поглощению этих напряжений поверхностным слоем и локализации деформации в этом слое, меньшему проникновению напряжений и деформации в глубинные слои поковки. Этому же способствует повышение температуры материала.

Серебро, палладий, платина и золото обладают самыми низкими упругими характеристиками и сравнительно низким временным сопротивлением [2]. Эти металлы обладают высокой технологической пластичностью и хорошо деформируются. В связи с этим, четырехстороннюю ковку заготовок (со сдвиговыми деформациями) из этих металлов необходимо производить с максимальными обжатиями ( $\epsilon=25-50\%$ ) и малыми скоростями деформирования.

Для реализации разработанной технологии спроектирована и изготовлена РОМ новой конструкции дляковки слитков и заготовок из благородных металлов (рис. 3). Простота ковочного узла четырехбойковой РОМ позволила существенно упростить конструкцию привода и уменьшить металлоемкость всей машины. В отличие от РОМ фирм G. F. M. и Danieli, у которых все четыре бойка движутся по одинаковым траекториям, в новой машине нижний боек неподвижный, боковые бойки движутся по сложным траекториям – навстречу друг другу и одновременно к нижнему бойку, при этом верхний боек проходит путь в два раза больше, чем каждый из двух боковых бойков. За счет таких перемещений бойков создаются дополнительные сдвиговые деформации в поперечном сечении заготовки.

Простота конструкции ковочного узла достигается за счет того, что движение всем трем бойкам (верхнего и двум боковым) сообщается с помощью одной детали – держателя верхнего бойка.



**Рисунок 3.** Общий вид ПОМ для деформации металла с дополнительными макросдвигами в поперечном сечении заготовки.

Усилие ПОМ передается через кривошипно-шатунный механизм на верхний корпус 1 ковочного блока и верхний боек 5, а через наклонные поверхности – на ползуны 3,4 и боковые бойки 7,8 четырехбойкового ковочного блока (рис. 4).

Составив уравнения сил, приложенных к бойкам, и решив их, получим:

$$\frac{P}{Q} = 1 + \frac{f \cdot \cos\alpha + \sin\alpha}{\sin\beta - f \cdot \cos\beta}, \quad (1)$$

где  $Q$  – усилие, необходимое для пластической деформации заготовки;

$f$  – коэффициент динамического трения;

$\alpha, \beta$  – углы наклона контактирующих поверхностей.

В рассматриваемом ковочном блоке  $\alpha = \beta$ . Подставив  $\alpha$  вместо  $\beta$  в уравнение (1) и проведя соответствующие преобразования, получим:

$$P = \frac{2 \cdot Q}{1 - f \cdot \operatorname{tg}\alpha}, \quad (2)$$

Ковочный блок работает в условиях периодической смазки трущихся поверхностей, при которых коэффициент трения составляет  $f = 0,05-0,1$ . В предлагаемой конструкции ковочного блока углы наклона боковых поверхностей равны  $\alpha = 45^\circ$ .

Подставив  $f = 0,1$  в уравнение (2), получим:

$$P = 2,22 \cdot Q \quad (2')$$

Усилие  $Q$ , необходимое для пластической деформации заготовки, можно записать в виде:

$$Q = n_\sigma \cdot \sigma_s \cdot F_c, \quad (3)$$

где  $n_\sigma$  – обобщенный коэффициент напряженного состояния;  $\sigma_s$  – сопротивление металла деформации с учетом температуры металла ( $t^\circ\text{C}$ ), степени деформации ( $\epsilon$ ) и скорости деформации ( $\dot{\epsilon}$ ) заготовки при единичном обжатии.

$F_c$  – проекция площади контакта заготовки с бойком на плоскость, перпендикулярную направлению движения бойка.

Обобщенный коэффициент напряженного состояния можно представить в виде произведения четырех коэффициентов:

$$n_\sigma = n_\nu \cdot n_\sigma' \cdot n_\sigma'' \cdot n_\sigma''', \quad (4)$$

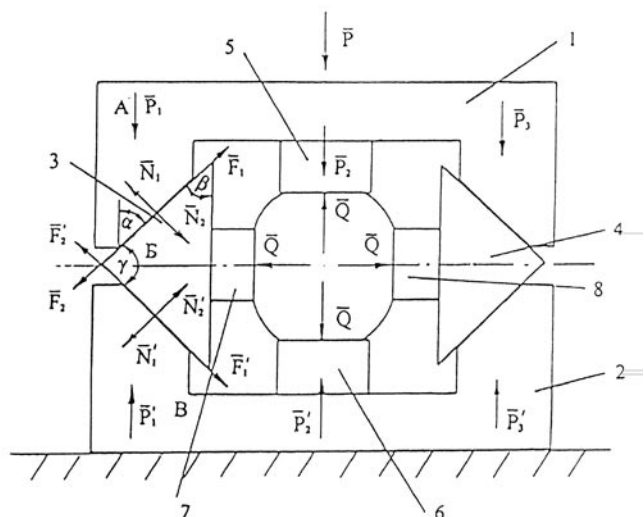
где  $n_\nu$  – коэффициент, учитывающий влияние поперечного подпора, изменяется в пределах от 1,0 при уширении, до 1,15 при полном отсутствии уширения;  $n_\sigma', n_\sigma'', n_\sigma'''$  – коэффициенты, учитывающие влияние внешнего трения, внешних зон и внешнего натяжения или продольного подпора.

Коэффициенты напряженного состояния определяют в зависимости от геометрического параметра

$$\text{очага деформации } m = \frac{L}{h_{cp}},$$

где  $L$  – проекция длины очага деформации на плоскость, перпендикулярную движению бойка;

$h_{cp}$  – средняя высота поперечного сечения заготовки в очаге деформации.



**Рисунок 4.** Схема четырехбойкового ковочного блока: 1 – верхний корпус; 2 – нижний корпус; 3,4 – ползуны; 5 – верхний боек; 6 – нижний боек; 7,8 – боковые бойки.

Для процессовковки на ПОМ разработанной конструкции геометрический параметр изменяется в пределах

$$1 < m \leq 2.$$

Расчет  $n_\sigma'$  осуществляется по формуле:

$$n_\sigma' = 1 + \frac{1}{G} m, \quad (5)$$

откуда  $n_\sigma' = 1,17 - 1,3$ .

Для  $m \geq 1$   $n_\sigma'' = 1$

Коэффициент  $n_\sigma''' = 1$ , что соответствует отсутствию натяжения или подпора заготовки.

Для инженерных расчетов вполне корректны следующие значения коэффициентов:

$$n_\nu = 1,15; n_\sigma' = 1,23; n_\sigma'' = 1; n_\sigma''' = 1.$$

$$\text{Тогда } n_\sigma = n_\nu \cdot n_\sigma' \cdot n_\sigma'' \cdot n_\sigma''' = 1,42.$$

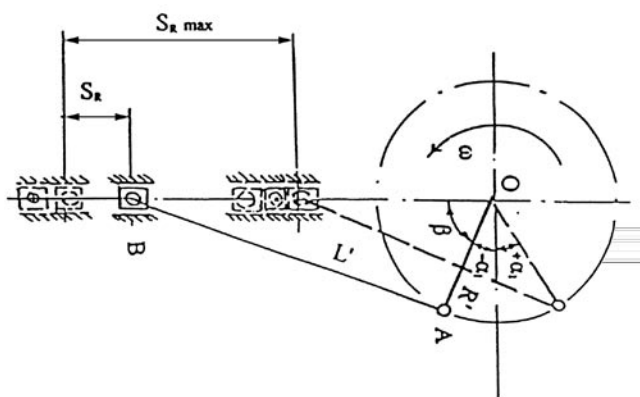
Мощность, передаваемую на шатун ПОМ, можно определить по формуле:

$$W = \frac{A}{\tau_g}, \quad (6)$$

где  $A$  – работа, совершаемая механизмом при пластической деформации заготовки;

$\tau_g$  – время пластической деформации заготовки.

Для расчета времени пластической деформации заготовки на ПОМ рассмотрим схему эксцентриково-шатунного механизма (рис. 5).



**Рисунок 5.** Схема эксцентриково-шатунного механизма ПОМ:

$S_R$  – перемещение верхнего бойка;  $\beta$  – угол поворота эксцентрикового вала;  $L'$  – длина кривошипа;  $R'$  – эксцентриситет вала;  $\omega$  – угловая скорость.

Перемещение держателя верхнего бойка вместе с верхним бойком в ковочном блоке можно определить по формуле:

$$S_R = R' \left[ (1 - \cos \beta) + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \beta \right], \quad (7)$$

где  $\beta$  – угол поворота эксцентрикового вала;

$$\lambda = \frac{R'}{L'}; R' - \text{эксцентриситет вала};$$

$L'$  – длина кривошипа.

Угол  $\beta$  изменяется от 0 до  $180^\circ$ . Поэтому для расчета  $S_R$  во всем диапазоне изменения угла  $\beta$  формулу (7) преобразуем к виду:

$$S_R = R' \left[ 1 - \cos(90 - \alpha_1) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2(90 - \alpha_1)) \right] \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно угла  $\alpha_1$ , получим:

$$\alpha_1 = \arcsin \left( 1 \pm \sqrt{1 - 2\lambda \left( \frac{S_R}{R'} - 1 - \frac{\lambda}{2} \right)} \right) / \lambda \quad (9)$$

Из рис. 5 определим угол  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\pi}{2} + \alpha_1$$

или

$$\beta = \frac{\pi}{2} + \arcsin \left( 1 - \sqrt{1 - 2\lambda \left( \frac{S_R}{R'} - 1 - \frac{\lambda}{2} \right)} \right) / \lambda \quad (10)$$

Поскольку вращение эксцентрикового вала принято равномерным, время поворота  $\tau$  прямо пропорционально углу поворота  $\beta$ :

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{1}{\omega} \cdot \beta \\ \tau &= \frac{1}{2\pi N} \cdot \beta, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\omega$  – угловая скорость поворота эксцентрикового вала;  $N$  – частота вращения вала.

Подставляя (10) в (11), определим время движения бойка в процессе деформации:

$$\tau_g = \frac{1}{2\pi N} \left[ \frac{\pi}{2} + \arcsin \left( 1 - \sqrt{1 - 2\lambda \left( \frac{S_R}{R'} - 1 - \frac{\lambda}{2} \right)} \right) / \lambda \right] \quad (12)$$

Работу деформации можно записать в виде:

$$A = P \cdot S_R \quad (13)$$

где  $S_R = S \cdot \operatorname{tg} \varphi$

$S$  – подача заготовки между единичными обжатиями;

$\varphi$  – угол наклона заходного участка бойка.

Таким образом, предлагаемая методика расчета позволяет определить необходимое усилие и мощность ПОМ при ковке заготовок.

ПОМ усилием 1,25 МН установлена на государственном предприятии «Рубин» дляковки слитков и заготовок из платины и сплавов металлов платиновой группы. Стоимость этой машины значительно (в 10-30 раз) меньше стоимости ПОМ такого же усилия австрийского (фирмы G. F. M.) и российского (ОАО «Тяжпрессмаш») производства.

При ковке платино-родиевых сплавов использовали слитки диаметром 90 мм. Слитки нагревали до температуры  $820^\circ\text{C}$  и ковали на ПОМ по специально разработанной технологии на прутки диаметром 15 мм. Степень деформации на разных проходах составляла 15-30%. Наиболее оптимальной скоростью деформации является  $\dot{\epsilon} = 0,3-0,5 \text{ с}^{-1}$ , а скорость деформирования –  $V = 40-60 \text{ мм/с}$ . Разрывов металла в процессековки не происходило, качество металла соответствовало требованиям ГОСТа. Ковка на ПОМ в бойках специальной конструкции обеспечила получение геометрически точных калиброванных прутков круглого сечения с допусками на размеры поперечного сечения в 2,2 раза меньшими по сравнению с ковкой на молотах, с высокой производительностью. Торцевые утяжины с обеих сторон прутка отсутствовали.

Таким образом, новая технология радиальнойковки и разработанная конструкция ПОМ обеспечивают получение прутков из благородных металлов и сплавов высокого качества с высокой производительностью. При этом конструкция ПОМ отличается простотой и низкой стоимостью. Технология и конструкция ПОМ защищены патентами Украины [4,5].

Автор благодарит Лазоркина Виктора Андреевича за помощь в подготовке материалов статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андронов В. П., Головин В. А. Производство полуфабрикатов из драгоценных металлов и сплавов. Изд. «Металлургия», 1965.
2. Благородные металлы. Справ. изд. / Под ред. Савицкого Е. М. – М.: Metallurgia, 1984, 592 с.
3. Тюрин В. А. Дополнительные макросдвиги при пластической деформации слитков, непрерывно литых и прокатанных заготовок // Сб. тр. международной конференции «Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке». М., 1994, т. 4, с. 33-35.
4. Лазоркин В. А., Черный Б. П., Смирнов Ю. К. «Способ изготовления поковок прямоугольного сечения радиальной ковкой. Патент № 30608. Оpubл. Бюл. № 2 17.02.2003.
5. Лазоркин В. А., Черный Б. П., Лазоркина С. О. Четырехбойковое ковочное приспособление. Патент № 67879. Оpubл. Бюл. № 7 15.07.2004 г.

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.7—05

**А. Я. Мовшович,**

доктор технических наук, профессор, главный инженер научно-исследовательского института технологии машиностроения

**Пропонуються рішення щодо підвищення технічного та технологічного рівнів виробництва, суттєвого підвищення надійності та довговічності деталей машин і обладнання, зниження металоємкості та трудомісткості виготовлення технологічного оснащення.**

Высокие технологии в машиностроении и их рабочие процессы следует рассматривать на общем фоне развития машиностроения и тех тенденций, которые, возможно, окажутся решающими для достижений XXI века.

Современное передовое производство характеризуется как гибкое рыночно ориентированное. Это означает, что рынок определяет требования не только к конечному продукту, но и к его производству практически на всех этапах разработки и освоения.

При этом необходимо учитывать малую партионность, большое разнообразие типов и вариантов, а также специфичные для каждого потребителя исходные данные, повышающие требования к продукции, управлению производством, широте и глубине проектирования.

Формируется новое понимание производства будущего: целостное рассмотрение и оптимизация потоков материалов, исключение расточительных затрат ресурсов любого вида, непрерывная оптимизация производства, применение передовых технологий и ориентация на человека, минимизация расходов при эксплуатации готовой продукции.

В связи с этим все большее внимание специалистов привлекают нетрадиционные технологии, которые в отличие от традиционных называют «наукоемкими» (прецизионные, нанотехнологии и др.).

Высокими следует считать такие технологии, которые обладают совокупностью основных признаков: наукоемкость, системность, физическое и математическое моделирование с целью структурно-параметрической оптимизации,

высокоэффективный рабочий процесс размерной обработки, компьютерная технологическая среда, автоматизация всех этапов разработки и реализации при соответствующем технологическом (оснастка, оборудование, инструмент) и кадровом обеспечении, устойчивость, надежность, экологическая чистота.

Столь же очевидно, что необходимо создавать новые производства «высокой технологии» особенно по тем направлениям и видам продукции, где мы образно говоря, пока занимаем передовые позиции. По этим направлениям нам не надо покупать лицензии. А это экономит очень значительные средства, не говоря уже о престиже государства.

### НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Среди вопросов, требующих исследования, разработки и интенсивного решения опережающими темпами, первоочередными являются следующие:

- создание быстро перестраиваемых комплексов различного технологического назначения, оснащенных автоматизированной и механизированной технологической оснасткой второго поколения;
- широкое применение систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и интегральных систем управления производством;

- применение принципиально новых видов материалов, обладающих по сравнению с традиционными материалами высокими физико-механическими свойствами, устойчивостью к износу и изменению геометрической формы;
- создание и совершенствование промышленной технологии и оборудования для получения широкой номенклатуры высокопрочных, коррозионно-стойких, жаростойких композиционных покрытий на основе вакуумно-плазменного и детонационно-газового методов;
- широкое применение при конструировании и применении технологической оснастки композиционных материалов и пластических масс, способных заменить черные и цветные металлы и сплавы и существенно улучшить эксплуатационные свойства, качество и долговечность оснастки;
- разработка технологии и оборудования с применением высоких давлений и вакуума для формирования и калибровки изделий сложной формы, синтеза инструмента.

Результующая задача – совершенствование и дальнейшее развитие автоматизированной системы технологической подготовки и контроля производства в области управления предприятием, экономного использования материалов и решения производственных заданий.

Основными компонентами данной системы являются:

- гибкие системы проектирования, изготовления и сборки, управляемые ЭВМ;
- высокоэффективные рабочие процессы;
- широкая кооперация и поставка деталей строго по графику;
- системы снабжения и обеспечения производственных процессов;
- компьютерные автоматизированные системы (CAD – проектирование; CAP – планирование; CAM – производство; CAO – обеспечение качества; CAA – сборки).

Наиболее перспективным путем повышения производительности труда на стадии технологической подготовки производства является автоматизация на базе широкого использования средств вычислительной техники. Для этого необходимо разработать единое математическое и программное обеспечение, автоматизированные систем проектирования, технологической подготовки, планирования и организации производства. Говоря об экономической стороне автоматизации, необходимо подчеркнуть, что только комплексная автоматизация дает возможность создавать структуры промышленного предприятия, отвечающие требованиям эффективного использования прогрессивного оборудования.

## ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ И УПРОЧНЕНИЕ

Изнашивание, усталость, пластическая деформация, коррозия и другие явления, возникающие в результате работы деталей машин, вызывают их остановку и требуют проведения ремонтных и регулировочных работ.

Достаточно сказать, что только на ремонт действующего металлорежущего оборудования ежегодно тратятся средства, сопоставимые с затратами на выпуск нового.

Надежность работы машин непосредственно связана с качеством поверхностного слоя деталей, которое характеризуется геометрическими и физико-механическими параметрами. От качества поверхностного слоя зависят эксплуатационные свойства: сопротивление усталости, износостойкость, коррозионная и жаростойкость, сопротивление контактной усталости и др. Оптимальная поверхность должна быть достаточно твердой, иметь остаточные сжимающие напряжения, мелкодисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей с большой площадью опорной поверхности. Физико-механические параметры поверхности достигаются нанесением на них соответствующих покрытий вакуумно-плазменным, детонационно-газовым, лазерным и др. методами.

В зависимости от назначения изделия, условий его работы, материала и теплостойкости должен быть решен комплекс задач по выбору состава и конструкции покрытия, оптимизации параметров его нанесения. Так при упрочнении режущего инструмента наибольшее распространение получили покрытия на основе соединений титана и нитрида титана (TiN), карбида титана (TiC), карбонитрида титана (TiCN). Такие покрытия, хотя и повышают стойкость режущих инструментов, однако, позволяют решить задачу увеличения работоспособности только частично, так как эффективны лишь при обработке легированных конструкционных сталей. При резании высокопрочных сталей и сплавов инструментом с покрытием на основе титана существенного увеличения стойкости не наблюдается.

Пластические деформации в зонах стружкообразования сильно зависят от сопротивления сдвигу на участке пластического контакта. Именно на этом участке наиболее активно реализуются диффузионные процессы между инструментальным и обрабатываемым материалами, которые и влияют на сопротивляемость срезаемого слоя пластическому сдвигу. В частности, при насыщении локальных объемов обрабатываемого материала в зоне пластического контакта легирующими элементами из инструментального материала сопротивление сдвигу будет возрастать, а это обязательно приведет к росту коэффициента деформации и сил резания. Если покрытие, наряду с высокой теплостойкостью, химически инертно к обрабатываемому материалу, то оно выполняет роль активного барьера, сдерживающего диффузию атомов инструментального материала в обрабатываемый (сходящую стружку). В этом случае сопротивление пластическому сдвигу на участке пластического контакта снижается. Это приводит к уменьшению коэффициентов деформации и сил резания.

Для эффективной обработки трудно обрабатываемых материалов разработан ряд покрытий для режущих инструментов применительно к определенным группам жаропрочных и высоколегированных сталей и сплавов.

Эффективными можно считать такие покрытия:

- для жаропрочных деформируемых сплавов и высоколегированных сталей – композиционное покрытие нитридов титана и хрома (Ti/CrN), состоящее из 30 % хрома и 70 % титана (по массе);

- для хромистых нержавеющей и хромо-никелевых сталей и сплавов – композиционное покрытие нитридов циркония и гафния (Zr/HfN), состоящее из 80 % циркония и 20 % гафния (по массе);
- для титановых сплавов – нитрида циркония (ZrN).

Нанесение этих покрытий на режущий инструмент позволяет увеличить его стойкость в 1,6-2 раза.

Технологический процесс нанесения вакуумно-плазменных покрытий является многопараметрическим. Каждый из параметров или их сочетание оказывает влияние на фазовый состав, структуру и свойства покрытия. Изменение только одного параметра – давления в вакуумной камере – позволяет получить многослойную конструкцию покрытия с чередующимися по твердости слоями ( $\alpha$ -Me +  $\alpha$ -Me +  $\gamma$ -Me +  $\gamma$ -Me). Режущий инструмент с 4...6 такими слоями обладает достаточной пластичностью и эффективен при работе с ударными нагрузками, в том числе и при прерывистом резании. Получение покрытий с различными свойствами позволяет разрабатывать улучшенные конструкции деталей машин, при этом работоспособность узлов, в которые они входят, значительно повышается. Так, предложенная технология нанесения покрытия нитрида молибдена на кулак шарнира, а на сопрягаемый упор — нитрида титана, позволила снизить трение в 3 раза, увеличить чувствительность механизма в 3...4 раза и повысить общую долговечность работы механизма парораспределения турбины с 10 месяцев до 4 лет при работе в среде с температурой 260°C.

Вакуумная технология способна также решать задачи, которые не под силу другим процессам. Для производства головок наведения управляемых аппаратов требуется коэффициент отражения сферической поверхности магнита из сплава ЮНДК-24 не менее 0,9 при работе с термоударами от +60°C до -180°C. Разработанный технологический процесс нанесения многослойного покрытия Zr + ZrN общей толщиной 0,4 мкм обеспечивает стабильное получение коэффициента отражения 0,92.

Свойства бомбардировки ионами низких энергий (до 2 кэВ) очищают поверхность от окисных пленок, вскрывают структурные дефекты в поверхностном слое, а также осуществляют интенсивный нагрев поверхности, могут быть использованы для создания экологически чистых технологий взамен химико-термических процессов (цианирование, азотирование) и нанесения гальванических покрытий, применяемых для улучшения эксплуатационных характеристик деталей из низкоуглеродистых сталей типа 08кп, 10, 20.

Все большее распространение получает использование вакуумно-плазменных технологий при нанесении защитно-декоративных покрытий на товары народного потребления из нержавеющей сталей, нейзельбера, стекла, керамики, фарфора. Изделия при этом приобретают желаемую цветовую гамму, которая зависит как от состава реактивного газа, так и от толщины покрытия.

Повышение надежности и работоспособности наиболее ответственных и тяжело нагруженных деталей машин, работающих в условиях длительного трения, эрозионного воздействия, значительных механических и тепловых нагрузок, определяющих в связи с этим ресурс изделия, достигается методом детонационно-газового упрочнения путем

нанесения на рабочие поверхности деталей упрочняющих и защитных покрытий импульсным высокоэнергетическим напылением порошкообразного материала с заданными технологическими характеристиками.

В настоящее время разработана и широко внедрена технология получения на рабочих поверхностях деталей эксплуатационного слоя с физико-механическими характеристиками, обеспечивающими оптимальные условия промышленной эксплуатации изделий.

Основными преимуществами метода детонационно-газового напыления в сравнении с другими методами газо-термического высокотемпературного напыления (электродуговая металлизация, газопламенное и плазменное напыление) являются:

- возможность нанесения покрытий на холодную деталь (без необходимости предварительного, сопутствующего либо последующего ее нагрева);
- высокая прочность сцепления (адгезия) покрытия с материалом детали (до 250 МПа);
- высокая плотность покрытий (до 99 %);
- незначительный нагрев детали при напылении (до 200°C), что позволяет наносить покрытия на термически обработанные детали;
- возможность нанесения чрезвычайно широкого круга материалов (металлов и сплавов, различных видов керамики: оксидов, карбидов и т. д., металлокерамики, а также их смесей).

Эффективность применения детонационных покрытий связана, прежде всего, с повышением срока службы упрочненных деталей. Увеличение затрат на их изготовление значительно ниже по сравнению с экономией от увеличения срока их службы. Кроме того, детонационное напыление в целом ряде случаев позволяет заменить дорогостоящие стали и цветные металлы на более дешевые недефицитные материалы путем придания необходимых эксплуатационных свойств только рабочим поверхностям, непосредственно подверженным влиянию неблагоприятных факторов, вместо упрочнения детали в целом. Все вместе это обуславливает получение значительной экономии материальных и энергетических ресурсов, а также улучшение экологической ситуации.

С помощью широко применяемых технологий окончательной обработки (шлифование, хонингование, доводка) создается необходимая форма поверхности с заданной точностью. Однако в ряде случаев традиционные технологии не обеспечивают оптимальное качество и точность рабочих поверхностей.

В этих случаях целесообразно использовать технологии поверхностного пластического деформирования (обкатывание и раскатывание шариковым и роликовым инструментом, алмазное выглаживание, ударную обработку специальным инструментом).

В результате упрочняется поверхностный слой, повышается износостойкость, стойкость к коррозионным воздействиям и др. Во многих случаях удается в 1,5-2 раза повысить запас прочности деталей, работающих при переменных нагрузках.

Другим перспективным направлением при изготовлении и ремонте деталей является отделочно-зачистная обработ-

ка и одна из ее разновидностей виброобработка. Широкие технологические возможности этого метода в сочетании с высокой производительностью на очистных, доделочных, шлифовально-полировальных и упрочняющих операциях поставили его в число наиболее приемлемых и перспективных способов обработки деталей.

Работа виброустановок основана на принципе неуравновешенного момента, создаваемого при помощи грузов, закрепленных на концах вала вибратора. Механические колебания рабочей среды и обрабатываемых деталей при этом составляют 20...50 Гц с амплитудой от 1 до 10 мм.

В зависимости от назначения технологической операции, материала детали и способа ведения процесса состав рабочей среды может включать твердые абразивы, неабразивные материалы, жидкие наполнители в виде водных растворов с различного рода добавками (моющие, разделяющие, травящие, пассивирующие и др.). На виброустановках обрабатывается широкая номенклатура деталей (крепеж, корпуса, соединительная арматура, валики, лопатки и др.).

## ПРОТОТИПИРОВАНИЕ

Особый интерес представляет дальнейшее развитие и широкое применение технологии быстрого изготовления заготовок деталей, получаемых точным литьем в оболочковые формы на базе систем быстрого прототипирования.

Система быстрого прототипирования позволяет получать физическую копию трехмерной компьютерной модели детали любой сложности, спроектированной с помощью различных систем САПР. В основе этой технологии лежит процесс выращивания физической копии компьютерной модели последовательно отверждением полимерной жидкости (метод стереолитографии) или из слоев ламинированной бумаги, фольги путем ее послойного раскроя лучом лазера с последующим термопрессованием слоев (метод тонких пленок).

При использовании традиционной технологии нужны две металлические пресс-формы: модельная и стержневая, очень дорогостоящие и трудоемкие. Применение же систем быстрого прототипирования позволяют сократить до 70 % время и трудоемкость создания прототипа изделия; создается полная индивидуализация прототипа, а сам технологический процесс является экологически чистым и безотходным. Технологическая ниша данных технологий – изготовление опытных образцов и первых комплектов деталей, отработка конструктивных вариантов изделий сложной формы.

## РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА

Размерная обработка является определяющей в цепочке технологических переделов, так как она в основном обеспечивает реализацию замысла конструктора по созданию деталей с заданными служебными свойствами. Кроме этого совершенствование технологии размерной обработки, на долю которой приходится не менее 40 % общей трудоемкости изготовления машин (около 80 % их деталей под-

вергаются размерной обработке), определяет технический прогресс в машиностроении.

Основные направления развития технологии размерной обработки, учитывающие как организационные технические факторы, так и рабочие процессы размерной обработки, включают:

- разработку новых принципов организации технологии, дающих возможность управлять её параметрами и структурой в цикле проектирования и изготовления;
- интенсификацию и повышение качества за счет новейших и синтеза существующих рабочих процессов;
- создание новых прогрессивных средств технологического оснащения (оборудования, оснастки, инструмента), в том числе гибких модулей.

Основные направления развития обработки резанием связаны с её интенсификацией за счет новейших и синтеза существующих методов обработки. Основная тенденция – смещение технологических показателей в размерной обработке в направлении более высокой степени точности и качества в результате изменения соотношения отдельных видов обработки. Уменьшается объём токарной обработки за счет внедрения абразивной обработки, увеличивается доля прецизионного шлифования и, напротив, внедрение лезвийной обработки сверхтвердыми материалами может вытеснить абразивную обработку.

В то же время, лезвийная обработка будет использовать методы сверхскоростного резания, позволяющего повысить скорости и подачи в несколько раз по сравнению с существующими на сегодняшний день. Так, например, для фрезерования скорость резания повышается до 100 м/с, а скорость подачи – до 14 000 мм/мин.

Соответственно, новый уровень финишной обработки может быть достигнут на основе развития триботехнологии. Триботехнология финишной обработки обеспечивает создание практически безыносных пар трения за счет комбинированного воздействия алмазно-абразивного, деформирующего и антифрикционного инструмента, обеспечивающего управление как геометрическими, так и физико-химическими параметрами поверхности. При этом достигается повышение ресурса пар трения в 3...10 раз.

В области электрохимической и электрофизической обработки, а также комбинированных методов обработки можно отметить следующие основные тенденции развития:

- более широкое использование комбинированных методов шлифования на основе использования традиционных методов, электроэрозионных и электрохимических методов обработки, эрозионно-химической обработки, совмещение ультразвуковой и электроэрозионной обработки;
- применение плазменно-механической обработки, обеспечивающей повышение производительности в 1,2...10 раз и стойкости режущего инструмента в 2...5 раз.

При обработке ювенильных (сверхгладких и сверхчистых) поверхностей деталей с субмикронной точностью применяются методы нанотехнологии, базирующейся на принципиально новых физико-химических процессах размерной обработки, обеспечивающих шероховатость в тысячных долях мкм.



В области технологической оснащённости перспективы технического совершенствования автоматизированных производств требуют создания гибких средств технологического оснащения. Материальной базой в данном случае является система переналаживаемой технологической оснастки (ПТО).

Рассматривая перспективы теории и практики размерной обработки, следует считать, что их теоретическими основами являются последние достижения фундаментальных наук, которые дают возможность применять для изготовления машин все многообразие возможных физико-химических явлений. Особенно эффективны разработки по созданию комбинированных методов обработки, использующих последовательное или одновременное воздействие ряда механических, электрических, магнитных процессов.

## ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В ряде изделий предприятий отрасли применяются сложные рельефные детали из высокопрочных и трудно деформируемых материалов и сплавов, изготавливаемые методами глубокой вытяжки и рельефной формовки в несколько переходов с последующим выполнением различных разделительных операций: вырубки, пробивки, обрезки по контуру и т. д. Изготовление комплектов крупногабаритных штампов для производства этих деталей связано с большими техническими трудностями, а в ряде случаев экономически нецелесообразно. Время их изготовления может составлять от 8 месяцев до 1 года, что совершенно не соответствует быстрой сменяемости объектов производства.

В настоящее время при производстве сложных деталей все шире применяются высокоэнергетические методы штамповки, наиболее перспективным из которых является метод ударной импульсной штамповки, осуществляемый с энергией до 40 кДж. Отличительной особенностью метода является осуществление деформирования материала импульсом высокого давления. Дальнейшее развитие и

широкое внедрение данного метода сдерживается отсутствием технологического оборудования достаточной мощности.

Наиболее перспективными направлениями в области технологии и оборудования для ударной импульсной штамповки являются:

- разработка гидроударного и пневмоударного оборудования с энергией импульса 75...100 кДж, работающего в автоматическом и полуавтоматическом режиме (габаритные размеры штампуемых деталей до 750 x 1000 мм);
- разработка технологии получения сложных профильных деталей за один переход в одной матрице с доведением толщины штампуемого металла для трудно деформируемых малопластичных материалов до 3,0 мм, а легированных – до 6,0 мм;
- интенсификация процессов ударной импульсной штамповки за счет использования пластифицирующих покрытий;
- расширение номенклатуры деталей, штампуемых полиуретаном на ударном оборудовании.

Применение метода ударной импульсной штамповки позволит сократить сроки технологической подготовки производства за счет простоты и снижения стоимости штамповой оснастки в 2...3 раза, уменьшить стоимость и количество необходимых штампов в 3...5 раз, снизить их металлоемкость на 50...80 %.

Путем реализации предложенных решений предусматривается радикально повысить технический и технологический уровень производства, надежность и долговечность деталей машин и оборудования, снизить металлоемкость и трудоемкость изготовления технологической оснастки, обеспечить экономию конструкционных, быстрорежущих и инструментальных сталей, сократить сроки технологической подготовки производства, создать технологические заделы для разработки техники нового поколения.