

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ СОРТОВОЙ ПРОКАТКИ И ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ ЛАТУНЕЙ

Ю.Н. Логинов, А.Ю. Горланов, О.Л. Мурзинов  
ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, Россия, Екатеринбург  
ОАО «РЗ ОЦМ», Россия, Ревда

В цветной металлургии сложилась тенденция уменьшения размеров поперечного сечения литой сортовой заготовки. Это позволяет заменить схему «литье – горячая деформация – холодная деформация» на более простую и экономичную «литье – холодная деформация». Примером является хорошо зарекомендовавшая себя с экономической точки зрения схема производства медной проволоки литьем и последующим волочением [1,2]. Вместе с тем, при анализе характеристик продукта, полученного таким способом, выявлены существенные отличия, заключающиеся в повышении степени анизотропии и неоднородности свойств [3,4].

В производстве круглых профилей и проволоки способом холодной деформации имеется альтернатива использования метода холодной сортовой прокатки и метода волочения. При этом каждый из методов обладает своими достоинствами и своими недостатками. В данной работе выполнен сравнительный анализ этих методов.

Пластические свойства, проявляемые металлом при деформации, зависят не только от его физической сущности, но и от условий пластической обработки. Принято условия обработки описывать показателем напряженного состояния  $\frac{\sigma}{T}$  и показателем Лоде  $\mu_\sigma$  ( $\sigma$  – средние напряжения;  $T$  – интенсивность касательных напряжений).

Для анализа выберем две марки латуней: Л96, как одну из пластичных латуней, и ЛС59-1, как одну из малопластичных латуней. Рассмотрим пластические свойства двух типов латуней Л96 и ЛС59-1 на основе имеющейся в литературе информации [5]. Для латуни Л96 степень деформации сдвига до разрушения  $\Lambda_p$  описывается функциями

$$\text{при } \mu_\sigma = -1 \quad \Lambda_p = 5,83 \cdot \exp\left(-0,748 \cdot \frac{\sigma}{T}\right); \quad (1)$$

$$\text{при } \mu_{\sigma}=0 \Lambda_p = 4,035 \cdot \exp\left(-0,935 \cdot \frac{\sigma}{T}\right). \quad (2)$$

Для латуни ЛС59-1

$$\text{при } \mu_{\sigma}=0 \Lambda_p = 1,306 \cdot \exp\left(-0,709 \cdot \frac{\sigma}{T}\right). \quad (3)$$

На рис.1 расчетом по этим формулам построены диаграммы пластичности для этих сплавов. Очевидно многократное изменение свойств материалов в зависимости от показателя  $\frac{\sigma}{T}$  и меньшее от показателя  $\mu_{\sigma}$ . Следует отметить, что эти данные приведены для горячедеформированного состояния металла, поскольку данные для литого состояния в литературе отсутствуют.

По данным [5] показатель напряженного состояния  $\frac{\sigma}{T}$  для сортовой прокатки колеблется -3 на дне ручья калибра, 0,7 в выпуске калибра и достигает значения 1,5 во внеконтактной зоне (рис.2, а). Эти показатели следует сопоставить с уровнем деформаций в поперечном сечении профиля. Наибольшие деформации наблюдаются вблизи выпуска калибра, и здесь же наблюда-

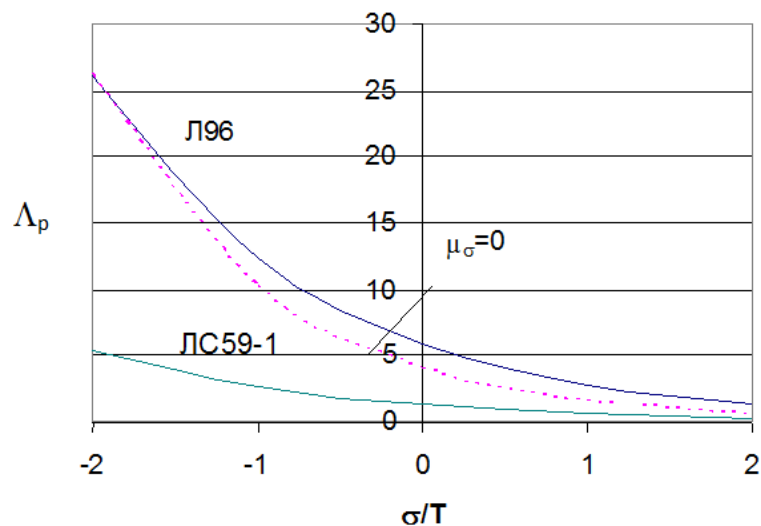


Рис.1. Диаграмма пластичности латуней при различных значениях показателя Луде:  $\mu_{\sigma} = -1$  - сплошная линия;  $\mu_{\sigma} = 0$  - штриховая линия

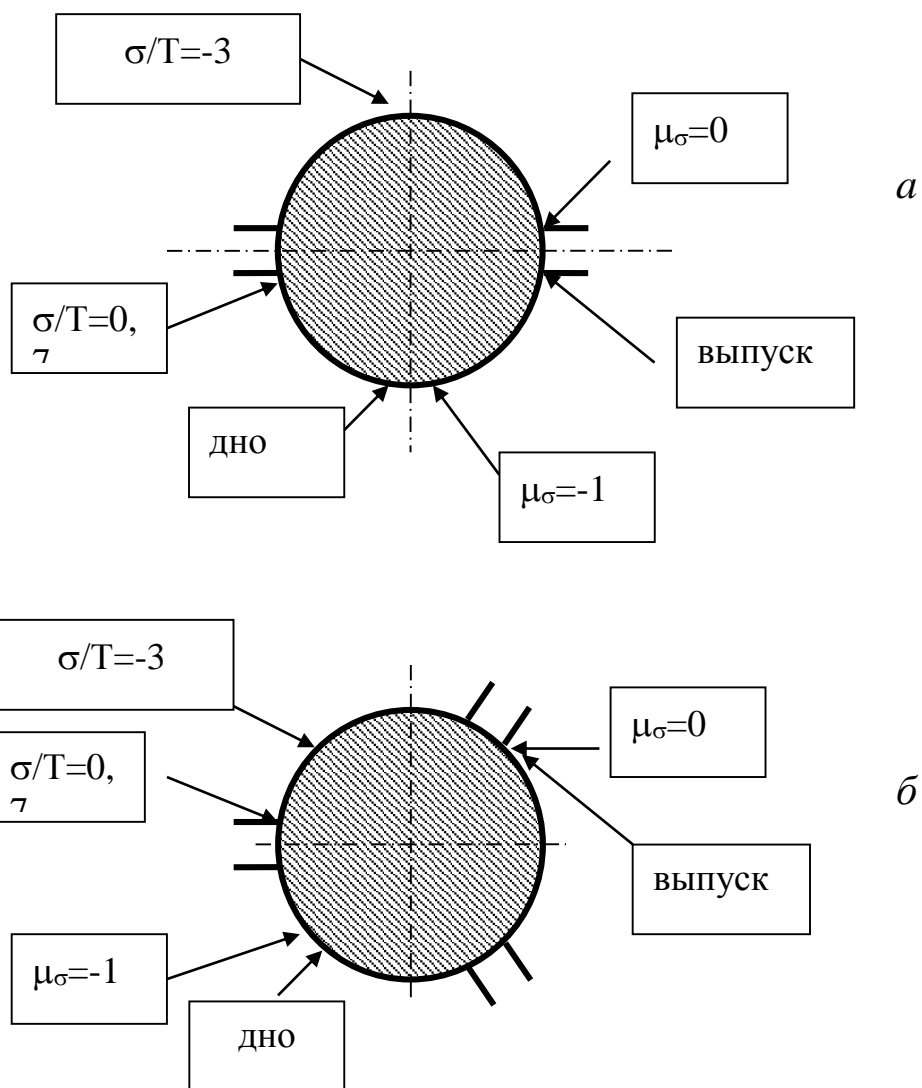


Рис.2. Значения показателей напряженного состояния при сортовой прокатке:  
*а* - двухвалковая прокатка; *б* – трехвалковая прокатка

ется наихудшее значение показателя напряженного состояния. Показатель  $\mu_\sigma$  при сортовой прокатке колеблется от  $-0,8$  до  $0$ . При этом, как видно из диаграммы рис.1, влияние  $\mu_\sigma$  на пластичность латуней невелико.

Во внеконтактной зоне металл находится, будучи недеформированным, и здесь же наблюдается наиболее высокое значение показателя  $\frac{\sigma}{T}$ .

Существует две вероятности наступления разрушения металла. Если в очаг деформации поступает пластичный металл, например, после отжига, то вероятность разрушения его даже

при неблагоприятной схеме деформации невелика. Но такой материал, как высокоцинковая латунь, быстро нагартовывается и теряет пластичность, поэтому разрушение может наступить на выходе. Если деформируется непластичный металл (в литом состоянии или нагартованный в предыдущем проходе прокатки), то разрушение может наступить на входе в очаг деформации. Для такого материала вероятность разрушения наиболее высока в районе выпуска калибра в районе внеконтактной зоны.

При многовалковой прокатке на трехвалковых, четырехвалковых клетях, как отмечается в [6], добиться полностью симметричного очага деформации не удастся, в районе внеконтактных зон может наблюдаться уширение или утяжка, последнее говорит о наличии продольных растягивающих напряжений. Поэтому распространим характер схемы напряженного состояния от схемы двухвалковой прокатки на схему многовалковой прокатки (рис. 2, б).

При прокатке на непрерывном стане возникает возможность создания подпора за счет подачи заготовки в очередную клеть с большей скоростью, чем вращаются валки данной клетки. Эта ситуация должна быть дополнительно проанализирована. Вместе с тем, как правило, предлагаются схемы деформации, в которых холодная прокатка проволоки ведется с натяжением [7], а не с подпором.

При волочении без противонатяжения показатель напряженного состояния  $\frac{\sigma}{T}$  составляет -1,15 на входе в очаг деформации и достигает 0,5 на выходе из очага деформации (рис.3). Наибольшие степени сдвиговой деформации наблюдаются вблизи контактных поверхностей. Поэтому здесь возможно разрушение в виде трещин. В отличие от сортовой прокатки появление трещин на выходе из очага деформации при волочении приводит к опасности ослабления поперечного сечения и обрыву заготовки. Приведенные значения показателей характерны для работы волочильных станов однократного волочения и барабанного типа, работающих без противонатяжения. Из станов многократного волочения в таком режиме работают машины магазинного типа.

На некоторых типах многократных волочильных машин волочение без противонатяжения невозможно. Поэтому эти данные должны быть скорректированы в сторону более низкой пластичности при работе на волочильных машинах, работаю-

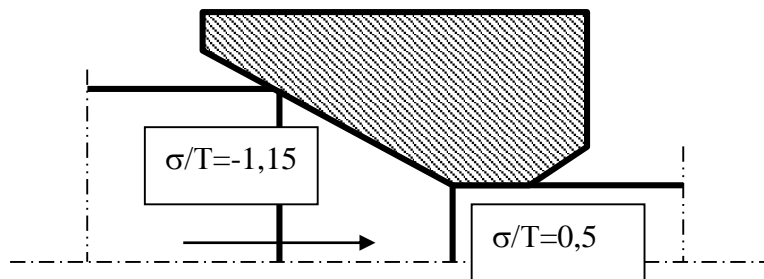


Рис.3. Показатели напряженного состояния при волочении

щих, например, в режиме скольжения, поскольку уровень растягивающих напряжений здесь увеличивается.

При волочении без противонапряжения показатель напряженного состояния на входе в очаг деформации оказывается более благоприятным для проявления повышенных пластических свойств, чем при прокатке. Объясняется это тем, что первое касание круглой заготовки волокой осуществляется по всей длине окружности, за счет чего напряжения сжатия создаются одновременно по всей поверхности контакта. При прокатке касание происходит в точке, в результате на боковых свободных поверхностях появляются напряжения растяжения.

Уровень пластичности металла при прокатке зависит от диаметра валков. При прокатке в валках большого диаметра увеличивается площадь контактной поверхности, в результате повышается уровень нормальных сжимающих напряжений, и показатель напряженного состояния смещается в область отрицательных значений, что приводит к повышению пластических характеристик металла.

Максимально допустимое значение коэффициента вытяжки  $\lambda$  определим из выражения

$$\lambda_{\max} = \exp\left(\frac{\Lambda_p}{\sqrt{3}}\right). \quad (4)$$

Для латуни Л96 при  $\mu_\sigma = 0$  и  $\sigma/T = 0,7$  (сортовая прокатка) получим  $\Lambda_p = 3,4$  и  $\lambda_{\max} = 7,34$ . При  $\mu_\sigma = 0$  и  $\sigma/T = 0,5$  (волочение) получим  $\Lambda_p = 4,0$  и  $\lambda_{\max} = 10,13$ . Такое значение максимально допустимого коэффициента вытяжки позволяет осуществлять процесс многопроходной прокатки или волочения без отжига. При этом сортовая прокатка представляет собой предпочтительный процесс, поскольку допускаемый коэффициент вытяжки оказывается большим.

Для латуни ЛС59-1 при  $\mu_{\sigma} = 0$  и  $\sigma/T=0,7$  (сортовая прокатка) получим  $\Lambda_p = 0,8$   $\lambda_{\max} = 1,58$ . При  $\mu_{\sigma} = 0$  и  $\sigma/T=0,5$  (волочение) получим  $\Lambda_p = 0,9$   $\lambda_{\max} = 1,69$ . Как при прокатке, так и при волочении возможен только один проход до отжига, если не будут предусмотрены мероприятия для повышения уровня пластичности металла.

Как было показано выше, для сортовой прокатки характерен высокий уровень сжимающих напряжений на дне калибра, поэтому в этом месте можно не ожидать появления трещин. Можно пойти на такой вариант процесса, в котором на боковой поверхности заготовки вблизи выпуска калибра мелкие трещины будут возникать, но вследствие последующей прокатки в соседнем калибре после кантовки, они будут залечиваться, чему будет способствовать промежуточная термическая обработка.

Таким образом, выбор процесса с точки зрения достижения максимальной пластичности зависит от марки материала и требуемого качества металла.

Энергоемкость металлообработки для рассматриваемых вариантов складывается, в основном, из энергоемкости деформации и энергоемкости термической обработки металла. Рассчитаем удельную энергоемкость деформации по «чистой» работе деформации без учета КПД процессов по формуле

$$Q_d = \frac{\sigma_s}{\rho} \cdot \ln \lambda, \quad (5)$$

где  $\sigma_s$  – сопротивление деформации;  
 $\rho = 8,5 \text{ г/см}^3$  – плотность латуни.

При коэффициенте вытяжки 1,5  $Q_d = 84 \text{ кДж/кг}$  или  $23 \text{ кВтч/т}$ . Реальные затраты на деформацию больше из-за потерь энергии на трение, работу вспомогательных механизмов станков и др.

Рассчитаем удельную энергоемкость отжига по «чистой» энергии нагрева без учета КПД печи по формуле

$$Q_m = c \cdot \Delta t, \quad (6)$$

где  $c=0,39 \text{ кДж/(кг*град)}$  – средняя удельная теплоемкость латуни.

При нагреве от комнатной температуры на  $\Delta t = 600^\circ\text{C}$  получим затраты энергии  $Q_m = 234 \text{ кДж/кг}$  или  $65 \text{ кВтч/т}$ .

Реальные энергозатраты будут больше из-за дополнительных затрат энергии на нагрев футеровок, кожухов, протяжных цепей, атмосферы, оснастки и др.

Как видно из сравнения результатов расчета, затраты на отжиг больше затрат на деформацию примерно в три раза. Это говорит о том, что любые действия, направленные на снижение количества отжигов, дают гораздо больший эффект, чем меры, направленные на уменьшение энергозатрат при деформации.

Однако, важность анализа схемы деформации, заключается в том, чтобы в ней была достигнута максимально возможная степень деформации, не приводящая к разрушению металла. Это особенно актуально в производстве свинцовых латуней типа ЛС59-1 и других относительно малопластичных сплавов на медной основе.

Сортовую прокатку обычно осуществляют с неполным заполнением калибра, что диктуется опасностью его переполнения при колебаниях параметров процесса: состояния поверхности инструмента и заготовки, качества смазки и др. Поэтому форма получаемой заготовки отличается от идеально круглой. Правда, эти отклонения могут вписываться в поле допуска на размеры поперечного сечения. Однако проблема настройки оборудования и инструмента на конкретный размер остается. В связи с этим в большинстве случаев сортовую прокатку завершают получением слегка овального или другого некруглого профиля и калибруют этот профиль в волочильном инструменте до правильного круга. В этом смысле отказаться полностью от приема волочения не удастся.

### **Вывод.**

Сравнительный анализ методов сортовой прокатки и волочения показал, что более благоприятная схема напряженного состояния достигается при волочении, если оно осуществляется без противонапряжения. Поэтому холодной сортовой прокатке могут подвергаться сплавы с достаточно высоким уровнем пластичности. С точки зрения снижения энергоемкости производства целесообразно использовать схемы деформации с максимально возможными коэффициентами вытяжек до отжига. Здесь целесообразны варианты использования многопроходной непрерывной прокатки с подпором между клетями.

### Библиографический список

1. Райков Ю.Н. Экономика предприятий обработки цветных металлов. М.: Интермет-Инжиниринг, 2003. 336с.

2. Патент WO9823398. Manufacture of copper wire. Wimbleton Thomas (GB). Appl. BICC PLC (GB). B21C37/04; B22D11/14; B22D11/00. Publ.04.06.98
3. *Логинов Ю.Н., Мальцева Л.А., Вырлина Л.М., Копылова Т.П.* Проблемы применения медной катанки в кабельной промышленности. Кабели и провода, 2001, № 2. С.14-16.
4. *Логинов Ю.Н., Мальцева Л.А., Вырлина Л.М., Копылова Т.П.* Анизотропные свойства непрерывнолитой медной катанки электротехнического назначения. Цветные металлы, 2002, № 4.
5. *Богатов А.А., Мижирецкий О.И., Смирнов С.В.* Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М.: Металлургия, 1984. 144с.
6. Прокатка малопластичных металлов с многосторонним обжатием. /Л.А. Барков, В.Н.Выдрин, В.В.Пастухов, В.Н.Чернышов. Челябинск: Металлургия, 1988. 304с.
7. Патент JP11267703. Method for continuously cold-rolling small-diameter wire. Imamura Yoichi. Sumitomo Metal Ind LTD(JP). B21B1/16; B21B1/18; B21B27/02; B21B37/00. Publ. 05.10.99.