

## РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.7

Гринкевич В. А.  
Чухлеб В. Л.  
Тумко А. Н.  
Ашкелянец А. В.

### УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПОКОВОК ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПАО «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ»

ПАО «Днепроспецсталь» – одно из крупнейших предприятий Украины, на котором разработана и функционирует система управления качеством, сертифицированная на соответствие требованиям международных стандартов ISO 9001. Следует отметить, что стандарты серии ISO 9000 и критерии моделей делового совершенства имеют одинаковые цели, и построены на принципах TQM (тотального или всеобщего управления качеством) [1], которые, в том числе, предписывают привлечение всех сотрудников для общей работы по улучшению качества. При производстве поковок – это технологи, кузнецы, термисты, специалисты по отделке металлопродукции и другие.

В сложившейся практике получения готовой поковки есть устоявшиеся правила проектирования, как самой поковки, так и всего технологического процесса [2, 3]. Эти правила довольно хорошо себя зарекомендовали на практике и являются общепризнанными. Однако при разработке технологического процесса до сих пор практически никогда не учитывается влияние режимов деформирования на качество готовой продукции. Влияние режимов деформирования на качество поковок инженер-технолог обычно нивелирует назначением величины укова. Величина укова является сложным параметром, который фактически оценивает изменение формы в течение всего процессаковки путем определения отношения площади поперечного сечения (длины) до и после деформации. Но величина укова непосредственно не учитывает влияния главных показателей деформации при выполнении единичных обжатий. А ведь именно интенсивность единичного обжатия, в конечном счете, и определяет интегральную характеристику, которой, по сути, и является величина укова. Незнание его составляющих свидетельствует о том, что инженер-технолог отдает все показатели качества на откуп самому кузнецу. В этом случае хорошо, если кузнец интуитивно использует рациональную схему деформации для заданных поковок. В противном случае возможно получение брака (как в окончательном виде, так и в виде промежуточного). Назначение величины укова в большинстве случаев происходит в сторону большего значения, чтобы задать в передел заготовку на большую суммарную величину деформации и максимально проработать металл вне зависимости от опыта (интуиции) кузнеца. При получении промежуточного брака имеет место тот случай, когда незнание влияния режимов деформирования на показатели качества компенсируется знанием термиста о назначении режимов термообработки поковки, вне зависимости от режимов деформирования. В итоге термист назначает режимы термообработки без учета режимов деформации. А инженер-технолог, в свою очередь, не знает, как влияет режим деформации на конечные механические свойства готовой поковки. Следовательно, на современном этапе кузнец получает форму, а конечные сдаточные механические характеристики поковки обеспечивает термист. В то время, когда они должны вместе работать над одним и тем же – формой и качеством поковки.

Сейчас к качеству поковок предъявляются все более высокие требования и большинство предприятий стремится минимизировать свои затраты на производство, актуальной становится задача оптимизации режимов деформирования при улучшении механических характеристик производимой продукции. На современном этапе развития кузнечного производства в большей степени развиваются процессы автоматизации процессовковки. При этом нет адекватных зависимостей, которые дали бы однозначный ответ, как влияет изменение конкретных режимов деформирования на механические свойства, т. е. каким образом надо назначать единичное обжатие (и не только) в процессе выполнения каждой из кузнечных операций для получения прогнозируемых показателей механических свойств готовой поковки. Более того, необходимо знание влияния всех режимов деформации на механические свойства поковки, как при выполнении каждой операцииковки в отдельности, так и при их комплексном выполнении. Необходимо также отслеживать изменение механических свойств поковки непосредственно после выполненияковки и после термообработки. Необходимо знать насколько значимо влияет на механические свойства режим деформации и отдельно выполненная термообработка. Для компенсации своего незнания в области взаимосвязи режимов деформирования и показателей механических свойств поковок в разрабатываемых технологических процессахковки происходит назначение величины укова на изначально высоком уровне. Знание и учет этой взаимосвязи позволит переход на назначение более низкой величины укова, что приведет к обеспечению требуемого уровня качества при одновременном снижении трудоемкости всего процесса. Это позволит снизить себестоимость выпускаемой продукции и повысить конкурентоспособность производства в целом. Также, когда появляется возможность контроля уровня механических свойств непосредственно послековки, для некоторых типов поковок и марок стали возможен полный или частичный отказ от последующей термообработки, что также приведет к повышению конкурентоспособности готовой продукции.

Следует также отметить, что согласно ДСТУ ISO 9001 (8.2 «Моніторинг та вимірювання») и принципов всеобщего управления качеством, задача отслеживания изменения механических свойств поковок, приобретает актуальность с точки зрения постоянного совершенствования системы управления качеством предприятия.

Все рассмотренные выше тенденции развития кузнечного производства планируется реализовать в кузнечно-прессовом цехе ПАО «Днепроспецсталь», в котором выполняются заказы как для внутренних потребностей предприятия и страны, так и на экспорт. В настоящее время кузнечно-прессовый цех - современное подразделение с высоким уровнем технологии и механизации производства поковок. Главной его задачей является обеспечение потребителей качественной продукцией. В цехе основным технологическим процессом является свободнаяковка на прессах. В состав кузнечно-прессового цеха входят два гидравлических прессы усилием 60 и 32 МН с манипуляторами грузоподъемностью 10 и 5 т соответственно, нагревательные и термические печи со стационарным и выкатным подом, устройство для закалки поковок аустенитных сталей, правильные прессы для правки поковок в холодном состоянии, ленточно – пильные станки для раскроя поковок, отбора проб и проведения технологической обрезки. Участок адьюстажа цеха снабжен различными станками для абразивной и токарной обработки поковок, для строжки поковок. На всех этапах технологического процесса осуществляется контроль нормируемых параметров. В кузнечно-прессовом цехе основными недостатками являются низкая производительность и относительно высокие энергозатраты. Эти недостатки определяются рядом факторов, среди которых низкая автоматизация производственных процессов.

Политика кузнечно-прессового цеха в области качества определяется наиболее полным удовлетворением требований потребителей и направлена на обеспечение высокопроизводительной, слаженной работы подразделений цеха. В цехе определена, обеспечена и поддерживается необходимая для управления качеством инфраструктура.

Основная деятельность цеха нацелена на создание и внедрение новых технологий. Каждая идея рассматривается с точки зрения влияния на улучшение качества, увеличение производства и снижение материальных затрат. Областью для усовершенствования в вопросах технологии и качества производимой продукции является достижение показателей технологии и качества, соответствующих современным высоким требованиям. Для исследования процессаковки были рассмотрены технологические карты изготовления поковок в условиях цеха, где приведено описание технологического процесса, используемого оборудования, массы поковки и готового изделия, марка стали. Для анализа выбирались технологические карты производства поковок, периодически повторяющихся в заказах, которые испытываются на качество структуры и механические свойства в поставляемом профиле. Испытания проводятся по таким механическим свойствам как предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , временное сопротивление  $\sigma_b$ , относительное удлинение  $\delta_5$ , относительное сужение  $\psi$ , ударная вязкость  $KCU$ , твёрдость и другие. Большое внимание необходимо уделять месту вырезки образцов из пробы относительно поверхности или центра её, а также направлению механических испытаний: поперечные или продольные образцы относительно волокна (длины) поковки; радиальные, тангенциальные или продольные образцы для шайб и круглых поковок. Технические требования к качеству поковок из специальных сталей и сплавов, как правило, оговаривают и место вырезки образцов, и направление испытаний.

Разработка технологииковки, в которой будут учтены регрессионные зависимости, связывающие параметры пластической деформации и показатели механических свойств готовой продукции, ведет к повышению качества поковок, экономии ресурсов предприятия и снижению себестоимости выпускаемой продукции.

Абсолютное большинство технических условий и стандартов на поковки простой формы большого сечения оговаривают контроль механических свойств в перекованных пробах. Обычно – это пробы квадратного сечения со стороной квадрата 100–120 мм. Послековки из проб вырезают образцы и производят стандартную термическую обработку: для коррозионно-стойких сталей аустенитного класса производят закалку в воде, для инструментальных – закалку в масле с последующим низким отпуском, для аустенитных жаропрочных сталей и сплавов – закалку на воздухе или в воде с последующим старением.

Во время закалики сталей ледебуритного, мартенситного и перлитного классов происходят фазовые  $\alpha \text{ В } \gamma \text{ В } \alpha$  превращения, которые практически нейтрализуют влияние температурно-временных и деформационно-скоростных параметровковки на зёрнистую структуру и механические свойства сталей, но не влияют на такие важнейшие показатели качества этих сталей как карбидная неоднородность, карбидная ликвация, структурная полосчатость, морфология неметаллических включений. Для этих показателей качества большинства инструментальных и конструкционных сталей важнейшим фактором являются технологические параметры деформации, прежде всего суммарная степень деформации (рис. 1).

В результате проведенной в условиях ПАО «Днепроспецсталь» работы [4–5] установлены закономерности формирования структуры ледебуритных сталей в многооперационных процессах деформации и термической обработки и построена математическая модель изменения карбидной неоднородности стали 8Х4В9Ф2-Ш(ЭИ347-Ш) от варьирования содержания химических элементов в пределах марочного состава и деформационных параметровковки на прессах, молотах, радиально-ковочных машинах и прокатки на крупносортом стане. Математическая модель позволяет оптимизировать химический состав в зависимости от требований к металлопродукции и возможностей технологического оборудования, а также позволяет рассчитывать многооперационную технологию обработки давлением плавки с заданным химическим составом для получения требуемого уровня качества по карбидной неоднородности.

При закалке аустенитных сталей и сплавов важное значение для формирования конечной структуры и свойств стали имеют параметры предшествующей деформации – температура, степень и скорость деформации, а также скорость последеформационного охлаждения поковки. Неравномерность распределения значений этих факторов по сечению и длине пробы вызывает образование грубой разнотерности, как при ковке, так и при нагреве под закалку.

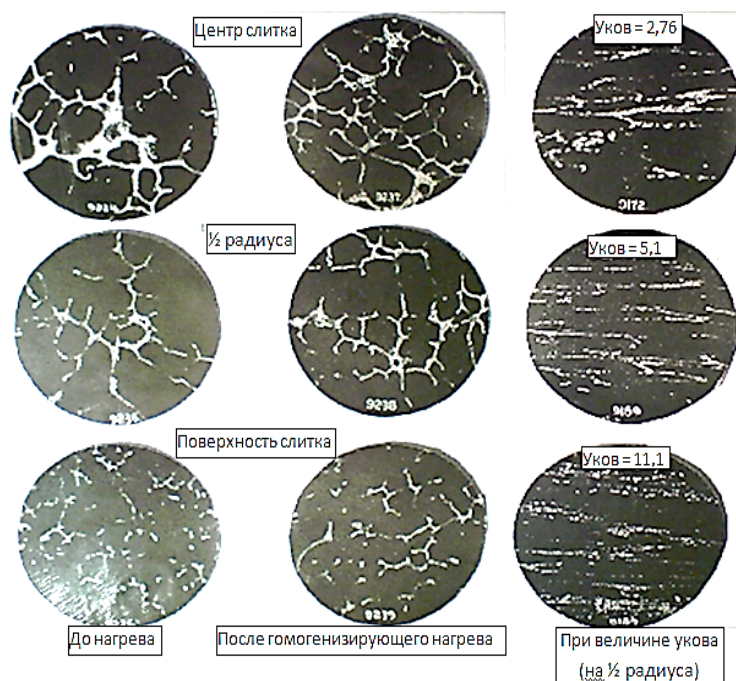


Рис. 1. Микроструктура слитка (а) и поковки (б) из стали 8Х4В9Ф2-Ш(ЭИ347-Ш)

Чтобы получить требуемую структуру, ковку жаропрочных сплавов на никелевой основе производят в узком температурном интервале. Отклонение температуры поверхности поволоков в конце деформации на 10–20 °С от установленной в сочетании с неравномерным её распределением по сечению поковки, в сочетании с неравномерностью деформации по высоте и ширине поковки и наличием в некоторых объёмах критических степеней деформации приводит к аномальному росту зёрен в некоторых объёмах металла и замедлению собирательной рекристаллизации в других объёмах после деформации (рис. 2).



Рис. 2. Макроструктура поковки жаропрочного сплава ХН77ТЮР-ВД, содержащего 20,13 % хрома, 75,09 % никеля, 0,91 % алюминия, 2,74 % титана, 0,06 % углерода, 0,38 % железа

Испытания образцов, вырезанных из объёмов металла с различным размером зёрен, с различным сочетанием крупнозернистой и мелкозернистой структуры, приводят к большому разбросу значений механических и других эксплуатационных свойств металла. Увеличение размера аустенитного зерна снижает прочностные и пластические свойства металла при кратковременных испытаниях на растяжение и повышает длительную жаропрочность сплава. Крупнозернистая структура у жаропрочных сплавов типа нимоник (ХН77ТЮР-ВД) образуется при нагреве заготовки, если температура конца предшествующейковки ниже температуры рекристаллизации или скорость последеформационного охлаждения перед подогревом не позволила полностью пройти первичной рекристаллизации. Также образование крупнозернистых объёмов в сплаве возможно вследствие критических степеней деформации (1–3 %) на завершающей стадииковки при высоких температурах, когда возможно протекание собирательной и вторичной рекристаллизации.

Другим распространённым дефектом макроструктуры поковок специальных сталей является осевая пористость слитка, не заварившаяся при деформации (рис. 3). Он характерен для поковок большого поперечного сечения и образуется как из-за недостаточной суммарной степени деформации, так и вследствие недостаточных для заваривания пористости слитка единичных обжатий при ковке. Поскольку главной предпосылкой для образования такого дефекта является исходная пористость слитка, то он чаще наблюдается на поковках конструкционных сталей перлитного класса, имеющих большую разницу между температурами ликвидус и солидус, и, следовательно, большую осевую пористость слитка.



Рис. 3. Макроструктура поковки (а) и фрагмент поковки (б) с осевой пористостью слитка, не заварившейся при деформации

При малых единичных обжатиях во времяковки в осевой зоне слитка возникают растягивающие напряжения, способствующие увеличению осевой пористости слитка, для заваривания которой при последующей деформации необходимо увеличивать суммарную степень деформации.

Для сталей с развитой дендритной ликвацией характерны дефекты макроструктуры, которые при металлографическом исследовании идентифицируются как микропоры (рис. 4). Обычно этот дефект наблюдается в сталях с высоким содержанием углерода (типа 14X1Ф, ШХ15СГ, 95X5ГМ), располагается в ликвационных полосах, имеющих температуру плавления значительно ниже, чем основной металл. Эффективным способом уменьшения отбраковки поковок по микропорам является снижение температуры нагрева металла под ковку. Например, уменьшение температуры нагрева перед свободной ковкой на прессах сталей 14X1МФ и 95X5ГМ с 1160 до 1120 °С позволило полностью исключить образование микропор в поковках. Однако микропоры могут образоваться также и из-за недогрева осевой части слитка и разрывов недогретой части металла во времяковки.

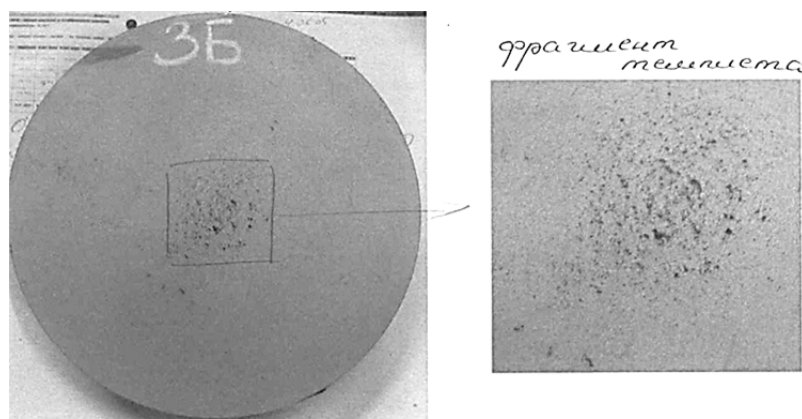


Рис. 4. Макроструктура прутка с микропорами



С увеличением улова вероятность появления микропор и осевой пористости слитка, не заварившейся в процессе деформации, уменьшается, также при этом снижаются баллы карбидной неоднородности, структурной полосчатости высокоуглеродистых сталей.

Эти особенности формирования структуры и свойств различных сталей и сплавов учитываются при проектировании технологических процессов производства поковок и изготовления проб для контрольных испытаний.

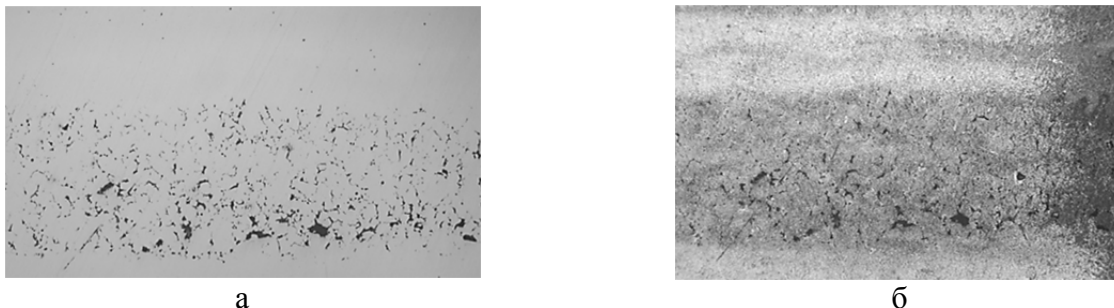


Рис. 5. Микропоры в нетравленых (а) и травленых (б) шлифах подшипниковой стали,  $\times 100$

### ВЫВОДЫ

Современное развитие кузнечного производства должно быть направлено на совершенствование существующих технологических процессовковки и разработку новых, которые обеспечат получение не только требуемые размеры и форму поковки, но и уровень механических свойств получаемой продукции в состоянии поставки.

В условиях кузнечно-прессового цеха ПАО «Днепроспецсталь» возможно применение современных технологийковки, которые основаны на получении поковок высокого качества за счет разработки рационального режима пластической деформации при свободной ковке и обеспечения оптимальных температурно-временных условий нагрева слитков и заготовок перед ковкой, температуры окончанияковки и режимов последеформационной обработки.

Совершенствование системы управления качеством в цехе возможно за счёт мониторинга изменения механических свойств продукции в течение технологического процесса.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Должанський А. М. Системи управління якістю / А. М. Должанський, Н. М. Очеретна, І. М. Ломов. – Дніпропетровськ : Свідлер, 2008. – 390 с.
2. Охрименко Я. М. Технологія кузнечно-штамповочного виробництва / Я. М. Охрименко. – М. : Машиностроение, 1976. – 560 с.
3. Технологія кування / Соколов Л. М., Алієв І. С., Марков О. Є., Алієва Л. І. – Краматорськ : ДДМА, 2011. – 268 с.
4. Улучшение качества деформируемых заготовок из стали 8Х4В9Ф2-Ш / А. Н. Тумко, В. В. Бринза, А. В. Коровин, С. В. Ревякин, В. Д. Потапов // *Сталь*. – 1992. – № 9. – С. 70–74.
5. Тумко А. Н. Формирование структуры и свойств ледебуритных сталей в многооперационных процессах горячей деформации / А. Н. Тумко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 7. – С. 165–170.

Гринкевич В. А. – д-р техн. наук, проф. НМетАУ;  
Чухлеб В. Л. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ;  
Тумко А. Н. – канд. техн. наук, зам. нач. ЦЗЛ ПАО «Днепроспецсталь»;  
Ашкелянец А. В. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

ПАО «Днепроспецсталь» – Публичное акционерное общество «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» им. А. Н. Кузьмина», г. Запорожье.

E-mail: ashkelianets\_a@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 22.10.2012 г.