

**ОПРОБОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ГАЙКИ ПОВЫШЕННОЙ  
ПРОЧНОСТИ БЕЗ ЗАКАЛКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

\*к.т.н. А.В. Ивченко, \*инж. Н.Д. Мачуская, \*студент П.В. Кондратенко,

\*\*к.т.н., доц. А.П. Клименко, \*\*\*инж. А.С. Якушев, \*\*\* инж.

А.Н. Щербина, \*\*\* инж. В.В. Анисимкин

*\*Национальная металлургическая академия Украины,*

*\*\*Украинский государственный химико-технологический университет,*

*\*\*\*ПАО «Днепрометиз»*

**1. Постановка проблемы и ее актуальность.**

В настоящее время наблюдается интерес к производству и применению прогрессивных видов крепежа [1], в том числе и гайки повышенной прочности (класса 8 и 9). Согласно требований НД [2] гайки классов прочности 8 и 9 должны выдерживать напряжение от пробной нагрузки без срыва резьбы более 800 и 900 Н/мм<sup>2</sup> соответственно, и иметь твердость не менее 170 HV, производиться из углеродистой стали с содержанием углерода не более 0,58% и марганца не менее 0,25%. При этом готовые гайки данных классов прочности допускается изготавливать и поставлять без термической обработки, т.е. без закалки с отдельного нагрева и отпуска. Это возможно в том случае, когда для производства используются среднеуглеродистые стали (содержание углерода 0,30...0,58%) в том числе легированные (например, 40X). В этом случае наблюдается высокая стоимость продукции, вызванная необходимостью проведения энергоемкой технологической операции сфероидизирующего отжига исходного проката. Использование низкоуглеродистых сталей (содержание углерода менее 0,30%) в том числе борсодержащих не позволяет получать гайки повышенного класса прочности (8 и более) без термической обработки, что снижает их потребительские свойства. Последующая термическая обработка гаек (закалка и отпуск) с отдельного нагрева для формирования требуемого класса прочности, также является энергоемкой технологической операцией, что значительно повышает их себестоимость. Кроме того проведение закалки и отпуска гаек, помимо энергетических затрат, требует наличия специального оборудования и дополнительных расходов, связанных с защитой металла гаек от окисления при нагреве под закалку, а также на очистку их поверхности после термической обработки. Перечисленные обстоятельства не отвечают принципам энергосбережения и эффективности производства.

**2. Анализ последних исследований и публикаций.**

Альтернативой использования при производстве высокопрочной метизной продукции легированных и борсодержащих сталей, может служить технология получения высокопрочных изделий из нелегированных низкоуглероди-

стных сталей, основанная на применении проката, прошедшего термическое или термомеханическое упрочнение в процессе изготовления [3 - 5]. Учитывая то, что необходимый уровень механических свойств при такой технологии производства метизов наследуется от стартовых свойств проката и дополнительно повышается в процессе холодной пластической деформации, операций закалки и отпуска готовой продукции не требуется. Это снижает себестоимость производства и повышает конкурентоспособность продукции на рынке. Имеется опыт использования таких технологий только применительно к производству болтов [4, 6], но они могут быть применены и при изготовлении гайки повышенной прочности.

**3. Цель работы** - опробование возможности производства гайки повышенной прочности из термомеханически упрочненного (ТМУ) проката (катанки) без последующей закалки готовой продукции.

**4. Результаты исследования.**

Для проведения опытов по производству гайки класса прочности 8 и более без закалки готовой продукции использовали металл ТМУ проката из стали марки SAE 1018 (аналог СтЗсп) диаметром 9 мм с уровнем прочностных свойств по  $\sigma_T = 360 \text{ Н/мм}^2$  и 20Г2 диаметром 12 мм с уровнем по  $\sigma_T = 450 \text{ Н/мм}^2$ . Данный прокат при производстве на металлургическом переделе подвергали прерванной закалке с самоотпуском и сматывали в мотки при температуре 640...720°C, тем самым придавая ему повышенный стартовый уровень прочностных свойств.

Изготовление опытных партий гайки осуществляли в условиях крепежного цеха ПАО «Днепрометиз». Волочение проката на требуемый диаметр исходной заготовки осуществляли на волочильном стане АЗТМ 1/750. Из проката диаметром 9,0 мм получали заготовку диаметром 8,60 мм (степень деформации 8,7%), а из проката диаметром 12,0 мм получали заготовку диаметром 10,40 мм (степень деформации 24,9%). На каждом размере заготовки производилась холодная объемная штамповка (ХОШ) гайки. Из заготовки диаметром 8,6 мм получали гайку М6, а из заготовки диаметром 10,4 мм гайку М8. Изготовление гаек по ДСТУ ГОСТ 5915:2008 размером М6 осуществляли на холодновысадочном автомате АВ1818Б, а гайки М8 на автомате А412. Из-за ограниченного наличия опытного металла по сортаменту, отсутствовала возможность изготовления гайки размером М10 (требуемая заготовка диаметром 13,3 мм) и М12 (требуемая заготовка диаметром 14,25 мм), поэтому для оценки возможности производства гайки класса прочности 8 и 9 типоразмеров М10 и М12 из сырья повышенной прочности, прибегли к моделированию, т.е. получению модельной гайки данных типоразмеров. Модельные гайки изготавливали из шестигранных головок, ранее произведенных и испытанных болтов М12х80 (гайка М12) и М10х70 (гайка М10) из ТМУ проката диаметром 12 мм.

## Строительство, материаловедение, машиностроение

Модельные гайки получали путем отрезки шестигранной головки, сверления отверстия нужного диаметра и нарезки резьбы в центральном отверстии. Нарезка резьбы на гайках осуществлялась машинными метчиками по ГОСТ 6951-71. В виду того, что высота головок болтов М10 и М12 на 15 и 25% меньше высоты гайки М10 и М12 соответственно, то данное обстоятельство служило неким фактором гарантии. Если модельные гайки будут соответствовать классу прочности 8, то на натуральных гайках, полученных после ХОШ, класс прочности будет еще выше за счет большей высоты (большого числа витков резьбы) последних.

Гайки от опытных партий размером М6 и М8, а также модельные гайки размером М10 и М12 были подвергнуты последующим испытаниям в состоянии после ХОШ (без термической обработки), а также после деформационного старения (ДС) при температуре 450°C в течение 1 часа. Результаты испытаний гайки представлены в таблице.

Таблица  
Механические свойства гайки

Размер гайки	Марка стали, обработка	Пробная нагрузка, Н	Разрушающая нагрузка на косой пайбе, Н	Твердость, НV	Класс прочности
М6	SAE1018 (ХОШ)	13500	15870	232	6
	SAE1018 (ДС)	17200	17370	240	8
М8	20Г2 (ХОШ)	31800	34200	261	8
	20Г2 (ДС)	38100	41600	276	10
М10 мод.	20Г2 (ХОШ)	50500	51600	312	8
	20Г2 (ДС)	54500	55900	325	9
М12 мод.	20Г2 (ХОШ)	74200	79800	309	8
	20Г2 (ДС)	80100	83200	320	9

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что при использовании низкоуглеродистой ТМУ катанки из стали марки SAE1018 с уровнем прочностных свойств по  $\sigma_T = 360$  Н/мм<sup>2</sup> непосредственно в процессе изготовления (после ХОШ) обеспечивается получение гайки класса прочности 6. Дополнительная термическая обработка (ДС) позволяет получать гайки класса 8 без осуществления закалки готовой продукции. Использование ТМУ катанки из низколегированной стали марки 20Г2 с уровнем прочностных свойств по  $\sigma_T = 450$  Н/мм<sup>2</sup> обеспечивает непосредственно в процессе изготовления (после ХОШ) получение гайки класса прочности 8. При этом дополнительная операция термической обработки путем ДС (отпуска) позволяет получать гайки класса 10 также без осуществления закалки готовой продукции. Косвенным

подтверждением возможности производства гайки повышенной прочности из низкоуглеродистых марок сталей служат результаты, полученные на модельных гайках М10 и М12. В этом случае на изделиях меньшей высоты, чем требуется по НД, обеспечиваются величины пробных нагрузок и разрушающих нагрузок на косой пайбе на уровне класса 8 непосредственно после изготовления и класса 9 после ДС.

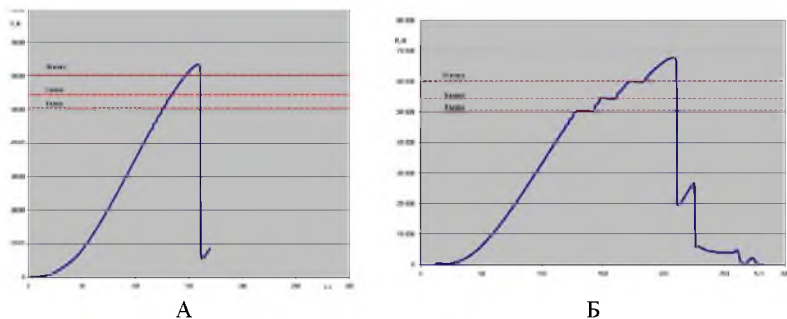
Для обеспечения стабильного производства гайки класса 8 и 9 из проката низкоуглеродистых сталей [7], его прочностные свойства после изготовления на металлургическом переделе должны быть на уровне по  $\sigma_T = 360 \dots 450$  Н/мм<sup>2</sup>, а деформация при волочении на заготовку требуемого диаметра 8...20%. Сам процесс изготовления (ХОШ) должен осуществляться на автоматах с большим числом переходов по позициям (в пять, а лучше в шесть) [8]. Финишной операцией изготовления гайки может служить ДС. Проведение дополнительного ДС в интервале температур 300...480°C способствует повышению класса прочности продукции. Указанный интервал температур соответствует режимам нанесения декоративно-защитных покрытий и может использоваться при совмещении этих процессов (например, ДС с горячим оцинкованием). При этом проведение ДС в указанном интервале температур не вызывает обезуглероживания резьбы гайки и не приводит к снижению ее механических свойств.

Наглядным примером перспективы изготовления гайки классов прочности 8, 9 и 10 из рядовых низкоуглеродистых сталей без закалки и отпуска готовой продукции могут служить диаграммы испытания модельной гайки размером М10 их стали 20Г2 при непрерывном и прерывистом нагружении в процессе испытания, которые представлены на рис.1. Полученные результаты свидетельствуют о том, что структурное состояние металла гайки, произведенной из ТМУ проката, обеспечивает ее свойства на уровне требований класса 10 даже при меньшей высоте (низкие гайки).

Проведенные исследования макро- и микроструктуры гаек, полученных после различных обработок из низколегированной стали подтвердили преобладающее влияние термического упрочнения исходного проката на параметры макро- и микроструктуры готовой гайки. На рис. 2 - 5 приведена макро- и микроструктура (x500) гайки М8 из стали 20Г2.

Предложенная технология производства гайки класса прочности 8 и 9 из ТМУ проката (катанки) рядовых низкоуглеродистых и низколегированных марок сталей без закалки готовых изделий по набору технологических операций (ТМУ проката – волочение на круглую заготовку – ХОШ - ДС) соответствует технологии термомеханикотермической обработки (ТМТО) [9]. Данная технология изготовления гайки при массовом промышленном применении

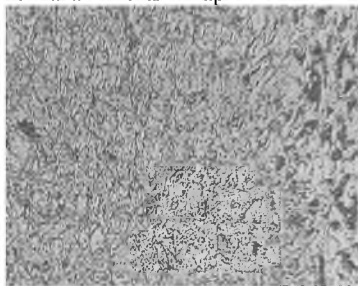
будет способствовать энерго- и ресурсосбережению, что положительно отразится на конкурентоспособности отечественной продукции.



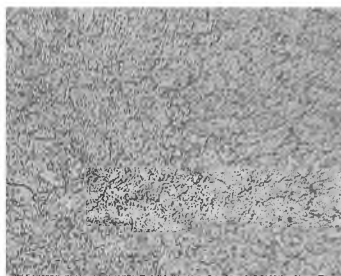
**Рис.1.** Диаграмма испытания модельной гайки М10 из стали 20Г2 при непрерывном нагружении (А) и с остановками в процессе нагружения на нагрузках, соответствующих классу прочности 8, 9 и 10 (Б)



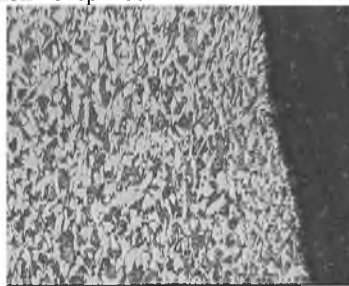
**Рис. 2.** Макроструктура гайки М8 из ТМУ катанки стали марки 20Г2



**Рис. 4.** Микроструктура переходной зоны



**Рис. 3.** Микроструктура у наружной поверхности



**Рис. 5.** Микроструктура у поверхности резьбы

### ВЫВОДЫ

1. На основании опытного опробования установлено, что изготовление гайки из низкоуглеродистой и низколегированной ТМУ катанки обеспечивает получение изделий класса прочности 8 и 9 без осуществления закалки продукции.
2. Для обеспечения производства гайки класса 8 и 9 из ТМУ проката (катанки), его прочностные свойства после изготовления на металлургическом переделе должны быть на уровне по  $\sigma_t = 360 \dots 450$  Н/мм<sup>2</sup>. Проведение дополнительного деформационного старения в интервале температур 300...480°C способствует повышению класса прочности готовой продукции.
3. Предложенная технология изготовления гайки класса прочности 8 и 9 из рядовых марок сталей без закалки готовых изделий способствует энерго- и ресурсосбережению, снижает себестоимость производства и повышает конкурентоспособность отечественной продукции.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бунатян, Г.В. Стандартизация и технические основы менеджмента качества резьбовых крепёжных изделий в машиностроении / Г.В. Бунатян, В.Г. Кутяйкин. – Нижний Новгород, НГТУ, 2012. – 164 с.
2. ДСТУ ISO 898-1:2003. Механічні властивості кріпильних виробів, виготовлених з вуглецевої і легованої сталі. Частина 1. Болти, гвинти і шпильки.
3. Гуль, Ю.П. Изготовление высокопрочных крепежных изделий по технологии термомеханикотермической обработки (ТМТО) – альтернатива использованию легированных и борсодержащих сталей / Ю.П. Гуль, В.П. Колпак, А.В. Ивченко // Метизы. 2007. – №2(15). – С. 56 – 58.
4. Ивченко, А.В. Высокопрочный крепеж класса 8.8 из термомеханически упрочненной катанки / А.В. Ивченко, М.Ю. Амбражей, Н.Д. Мачуская и др. // Метизы. 2010. – №1(22). – С. 58-62.
5. Ивченко А. В. Холоднодеформированный арматурный прокат класса прочности В600С в мотках/ А.В. Ивченко// СтройМеталл - 2012. - №1(26) - С.6 – 8.
6. Филиппов, А. А. Разработка конкурентоспособных технологий подготовки хромистых сталей под холодную высадку высокопрочных крепежных изделий / А.А. Филиппов, Г.В. Пачурин // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 10. С. 28 – 32.
7. Пат. 85857 Украина, ПМК<sup>8</sup> С21D8/06, С22С 38/04. Прокат передельный підвищеної міцності для виробництва гайки класу міцності 8 і 9 / Івченко О.В.; Долженков І.Є.; Семенов О.А.; Мачуська Н.Д.; Амбражей М.Ю. – № u201302808; заявл. 06.03.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 23.
8. Пат. 68674 Украина, ПМК<sup>8</sup> В21К 1/00, С22С 38/04. Спосіб виробництва гайки / Івченко О.В.; Семенов О.А. – № u201301116; заявл. 30.01.2013; опубл. 12.08.2013, Бюл. № 15.
9. Гуль Ю. П. Теоретические и технологические основы термомеханикотермической обработки / Ю.П. Гуль // «Металлургия и коксохимия»: Респ. междувед. научн. техн. сб. – Киев, «Техніка», 1987, вып. 92.