



XҒТАР 55.01.37

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-77-92>

СББ станоктарында сұр шойынды өңдеу: мәселелер, математикалық модельдеу

Т.М.Бузауова*  , А.Е.Бусурманова 

«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қарағанды,
Қазақстан

E mail: toty_77@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада сандық бағдарламамен басқарылатын (СББ) токарь станогында сұр шойын СШ20 әзірленген бөлшекті механикалық өңдеу, беттің кедір-бұдырлығы, микроқұрылымындағы өзгерістеру ерекшеліктері ескерілген кешенді зерттеу жүргізілген. Зерттеу барысында механикалық өңделген беттің кедір-бұдырлығы (Ra), Виккерс бойынша қаттылығы және сұр шойынның құрамындағы графиттік қосындылар сипаттары өлшенді. Жүргізілген зерттеулер кесу жылдамдығы 3000 об/мин болғанда өңделген бетте цементитті ақ аймақтың қалыптасатынын және қаттылықтың 261,5 НВ жоғарылайтынын көрсетті. Ал төмен жылдамдықта өңделген беттерде графиттің айтарлықтай өзгеруі байқалмайды, яғни ферритті-перлитті құрылымы сақталған. Регрессиялық сараптаманы қолдана отырып жүргізілген математикалық моделдеу беттің кедір-бұдырлығы мен қаттылығына әсер ететін маңызды технологиялық факторларды анықтады. Тұрғызылған математикалық модель өңдеу режимдеріне байланысты беттің кедір-бұдырлығын болжауға және өңдеудің технологиялық үрдісін тиімділеуге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер жоғары қаттылықпен және тозуға төзімді беттерді әзірлеу үшін сұр шойынды өңдеу кезінде материалдың микроқұрылымы мен қасиеттерін мақсатты басқару мүмкіндігін көрсетеді. Бұл әсіресе қарқынды үйкеліс және жоғары жүктеме жағдайында жұмыс істейтін айналу денесі тәрізді (біліктер) бөлшектерді әзірлеу үшін өзекті. Жұмыста ұсынылған әдістемелер термиялық өңдеу шығындарын азайтуға және дайын өнімнің сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: сұр шойын, кедір-бұдырлық, кесу режимдері, СББ токарлық станок, математикалық модельдеу, микроқұрылымдық талдау

Кіріспе

Беттің кедір-бұдырлығы металл кесетін станоктарда бөлшектерді өңдеудегі негізгі параметрлердің бірі болып табылады. Беттің сапасы өнімнің сенімділігіне, беріктігіне және өнімділігіне тікелей әсер етеді. Кедір-бұдырлықтың жобалық талаптарға сәйкес келмеуі бөлшектердің мерзімінен бұрын істен шығуына, олардың функционалдығының төмендеуіне, ауыстыру немесе жөндеу қажеттілігіне байланысты пайдалану шығындарының өсуіне әкелуі мүмкін [1, 2]. Сандық бағдарламамен басқарылатын (СББ) станоктар цилиндрлік және конустық беттерді өңдеу, ойықтар мен тесіктер жасау үшін кеңінен қолданылады. СББ станоктары өңдеудің жоғары дәлдігін және нәтижелердің қайталануын қамтамасыз етеді. Осы арқылы СББ станоктар сериялық өндірісте таптырмас технология болып табылады [3, 4, 5]. Сұр шойын СББ станоктарында өңдеуге күрделі материал болып табылады, ол морт сынғыш және құрамында графит қосындылары бар. Материалдың бұл ерекшеліктері өңдеуде қиындықтар туғызады, кескіш құралдың тез тозуына әкеледі және беттің белгіленген кедір-бұдырлығына қол жеткізу күрделі [6, 7, 8].

Шойынды өңдеудегі басты мәселе ол қаттылық пен морт сынғыштық. Сұр шойын оңай өңделеді, бірақ кесу құралдарының тозуын шапшаңдататын сынғыш абразивті жоңқаларды шығарады. Сондықтан сұр шойынды механикалық өңдеуге кесу жиектері вольфрам карбидінің жабдықталған кескіш құралдарды қолданады және құралдар мүмкіндігінше ұзақ қызмет ете алатындай, бетінің дұрыс сапасын сақтай алатындай етіп оңтайландырылған өңдеу стратегияларына сүйенеді [9]. Шойынды жону, фрезерлеу, бұрғылау және ажарлау сияқты операциялармен механикалық өңдейді. Ал әр механикалық өңдеу кесу, майлау құралдарын таңдау параметрлері тұрғысынан ерекше тәсілді қажет етеді [10, 11].

Әдеби шолуды талдай отырып, сұр шойынды өңдеу кезінде қажетті кедір-бұдырлық көрсеткішіне жету үшін кесу режимдерін мұқият таңдау керек екендігі анықталды. Сондықтан, кесудің оңтайлы параметрлерін анықтау үшін сұр шойынды өңдеу кезінде кесу режимдерінің бетінің сапасына әсерін егжей-тегжейлі талдау қажет.

Зерттеудің мақсаты: СББ токарлық станокта өңдеу кезінде кесу режимдерінің бет сапасына әсерін бағалау.

Әдіснама

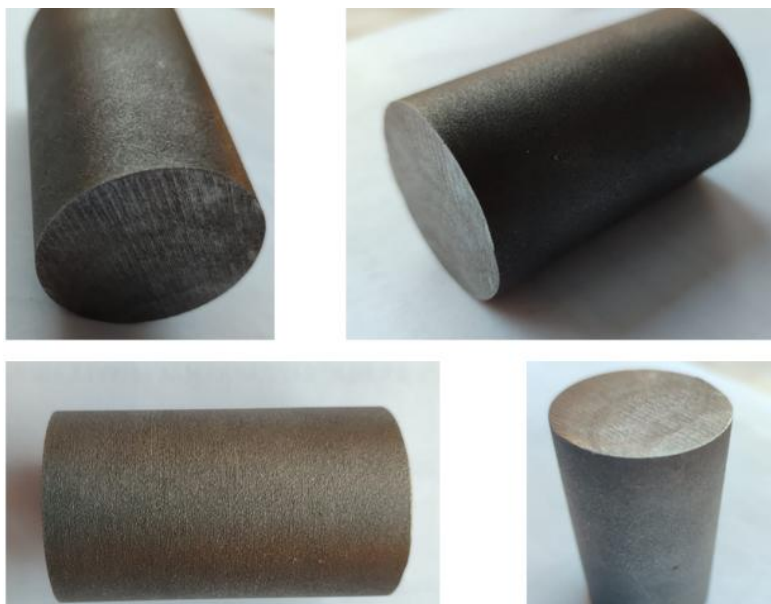
Мақсатқа жету үшін келесі әдістер қолданылады:

1. Сұр шойынды СББ станоктарында өңдеудің қолданыстағы тәсілдері мен тәжірибесін зерттеуге арналған әдеби шолу.
2. Сұр шойыннан әзірленген дайындама СББ KDCK-25S CNC токарь станогында әртүрлі кесу мәзірлерлерімен механикалық өңделді.
3. Өңделген беттің кедір-бұдырлығы (тегіссіздіктер профилінің орташа арифметикалық ауытқуы - R_a) TR220 - портативті профилометр көмегімен бағаланды.
4. Виккерс шкаласы бойынша микроқаттылық Wilson VH1150 аспабында анықталды.
5. Микроқұрылымды зерттеу мақсатымен үлгілер Laborol-5 машинасында ажарланды.
6. Ажарланған үлгілер азот қышқылында (HNO_3) өңделіп, БИОМЕД ММР-1 микроскобында микроқұрылымы зерттелді.

Эксперименттік зерттеулер

СШ20 маркалы сұр шойыннан әзірленген өлшемі $\varnothing 40\text{мм}$, $L=65\text{ мм}$ дайындама

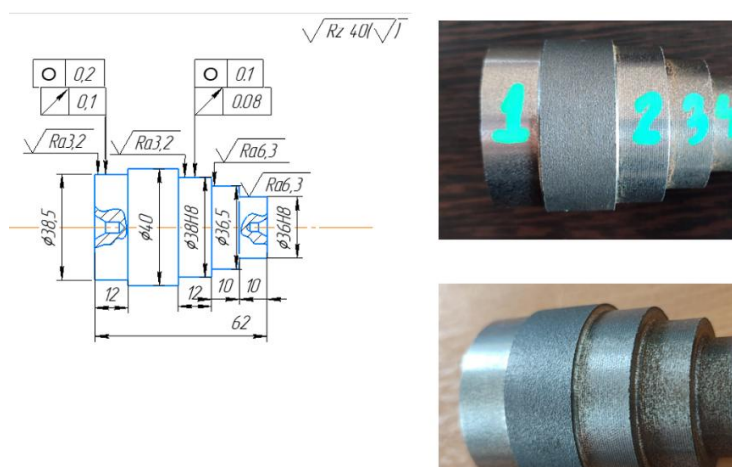
(1 сурет) таңдалды, жұмыс сызбасына сәйкес (2 сурет) сыртқы беттерді жону сандық бағдарламамен басқарылатын KDCK-25S CNC токарлық станокта (3 сурет), келесі кесу режимдерімен жүргізілді: өңдеу жылдамдығы $\vartheta = 900; 2000; 3000$ айн/мин, беріліс тұрақты $S = 0,2$ мм/айн; кесу тереңдігі $t = 1,5; 0,5$ мм.



1-сурет. СШ20 дайындамасы

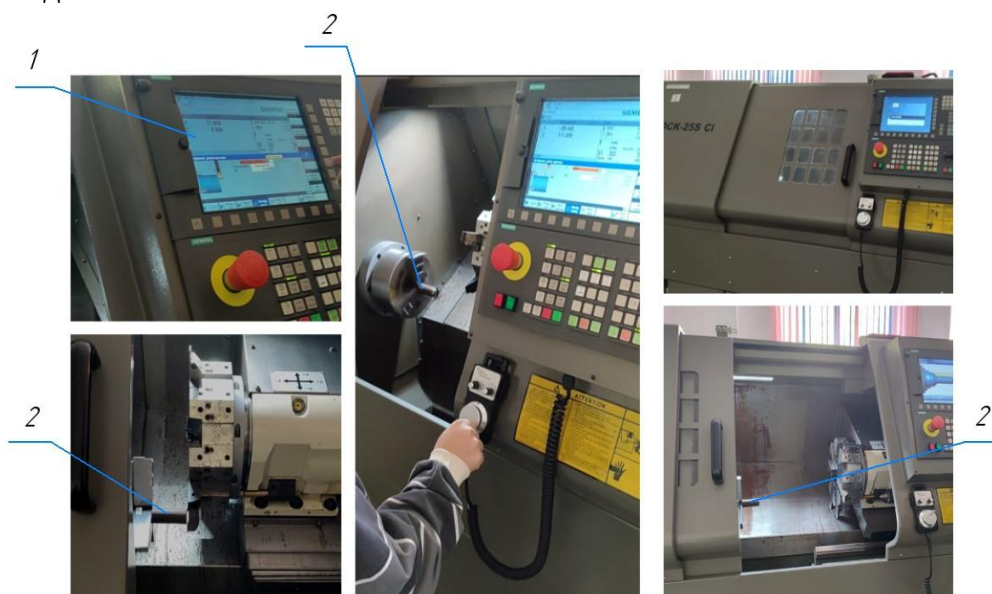
Кедір-бұдырлық пен қаттылықты анықтау.

Өңделген беттердің кедір-бұдыр параметрі Ra портативті TR220 кедір-бұдыр өлшегіште (4 сурет) өлшенеді.



2-сурет. Жұмыс сызбасы мен өңделген бөлшек

Байланыс зонды гауһар ұшымен қозғалу өлшенетін бетке түсіп, бөліктің осі бойымен қозғалады



3-сурет. Станокта механикалық өңдеу:

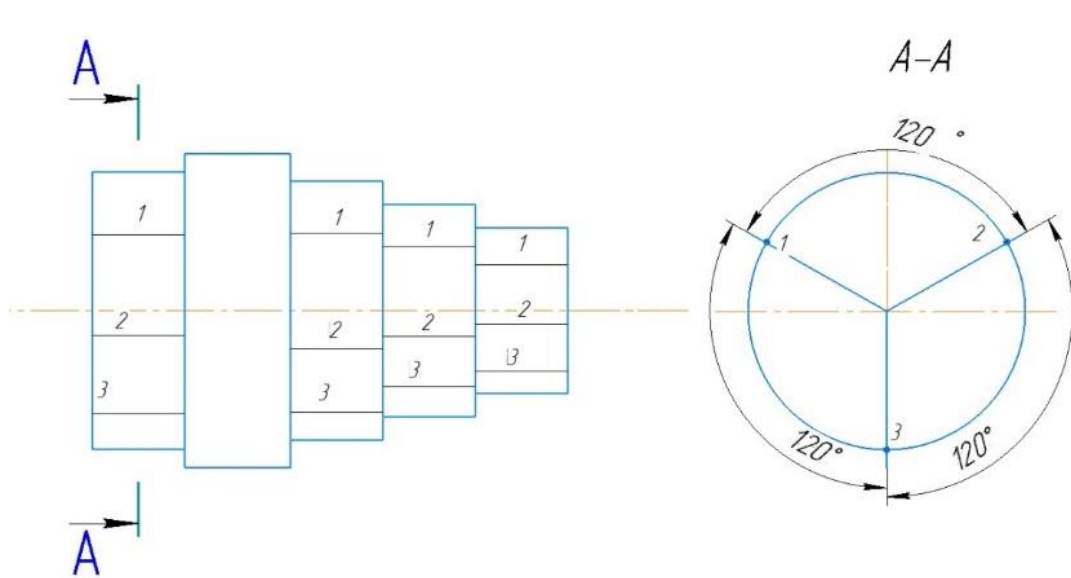
1 – басқару тақтасы; 2 – өңделген бөлшек

Зондтан алынған мәліметтер кірістірілген TR220 электроникасында өңделеді және құрылғының дисплейіне кедір-бұдыр параметрлерінің сандық мәндері ретінде көрсетіледі.



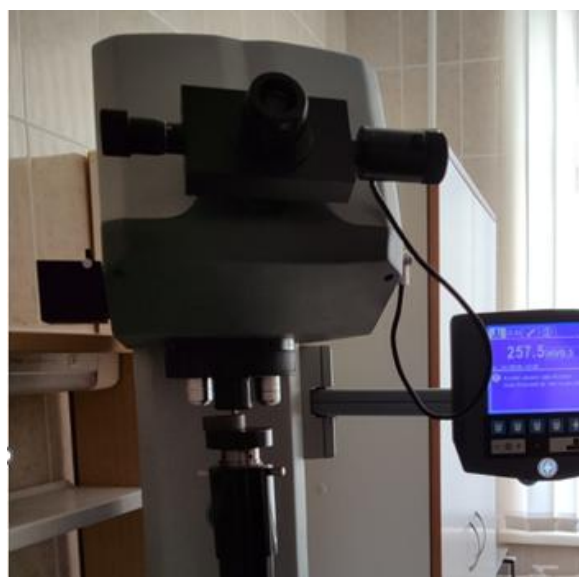
4-сурет. TR220 портативті өлшегіштегі беттің кедір-бұдырын өлшеу

Құрылғының көрсеткіштерін тіркеуді және бөліктің беткі құрылымының мүмкін гетерогенділігін ескере отырып, кедір-бұдырды сенімді бағалау үшін әр мойынның үш негізгі бөлігінде Ra кедір-бұдыр параметрі (5 сурет) анықталады.



5-сурет. Беттің кедір-бұдырын өлшеу схемасы

Қаттылықты Виккерс шкаласымен Wilson VH1150 қаттылық өлшейтін құрылғымен өлшенді (6 сурет).



6-сурет. Қаттылық өлшейтін Wilson VH1150 құрылғысында қаттылықты өлшеу

Микроқұрылымдық талдау.

Микроқұрылымдық талдау үшін өңделген бөлік үлгілерге кесілді (7 сурет), 1-кестеде сипатталған технологияға сәйкес үлгілер Laborol-5 (8 сурет, а, ә, б) машинасында ажарланды.



7-сурет. Экспериментке арналған үлгілер

Үлгілердің бір бөлігі HNO_3 азот қышқылымен өңделді (8 сурет, в). Дайындалған үлгілер БИОМЕД ММР-1 (9 сурет) микроскопында зерттелді.

1-кесте. Тегістеуді дайындау

Қадам	Тегістеу (PG)	Жұқа тегістеу (FG)	Алмаспен тегістеу (DP)	Оксидті жылтырату (OP)
Диск түрі	MD-Piano220	MD-Allegro	MD-Dac	MD-Chem
Аспа түрі	Cy	9 мкм алмазды суспензия	3 мкм алмасты суспензия	OP-A
Майлаушы	-	Жасыл/көгілдір	Жасыл/көгілдір	-
Дисктің айналу жылдамдығы (айн/мин)	300	150	150	150
Күш (Н)	240	180	180	90
Дайындау уақыты (мин)	Тігістелгенге дейін	4	4	2

Микроқұрылым параметрлерін анықтау.

Инверттелген Биомед ММР-1 металлографиялық микроскопын қолдана отырып, сұр шойынға микроқұрылымдық талдау жүргізгеннен кейін графит құрылымын сипаттайтын маңызды көрсеткіштер зерттелді:

-графит аймақтарының саны (N_g , дана) бұл көру аймағындағы графит қосындыларының саны, ол ImageJ 1.54hx64 кескіндерді талдауға арналған арнайы бағдарламалық құралды пайдалану арқылы анықталды. Дәлдікті арттыру үшін микроқұрылымның біртектілігі әртүрлі дәрежедегі учаскеде таңдалды.

-әрбір графитті қосылудың орташа ауданы (S_{avg} , μm^2) бір көру өрісіндегі 25-графитті бөлшектер ауданының өлшемін талдау негізінде 1-формуламен есептелді. Бұл үшін микроструктураның түсірілімдері кескінді бинаризациялау шегінің көмегімен металл матрицаның аясында графит аумағын бөліп көрсететін бағдарламаны пайдалана отырып өңделді.

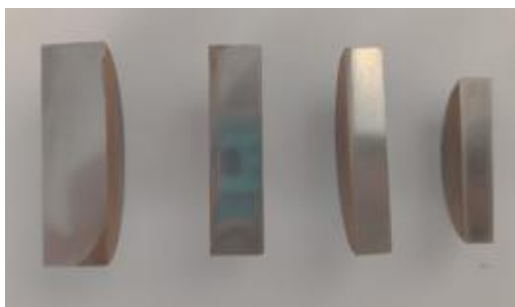
Графиттің жалпы ауданы (A_g , μm^2) (2) формула бойынша берілген талдау аймағындағы барлық графитті кірісті аудандарының қосындысы ретінде есептелді. Бұл көрсеткіш зерттелетін үлгідегі графиттің көлемдік құрамын сипаттайды



а)



ә)



б)



в)

8-сурет. Микроқұрылымдық талдау үшін үлгілерді дайындау:
а – дайындау; ә – жылтырату; б – талдау үшін үлгілер; в – азот қышқылымен өңделген үлгілер

Микроқұрылымның суреттері жарық өрісте x200 үлкейту кезінде алынды.

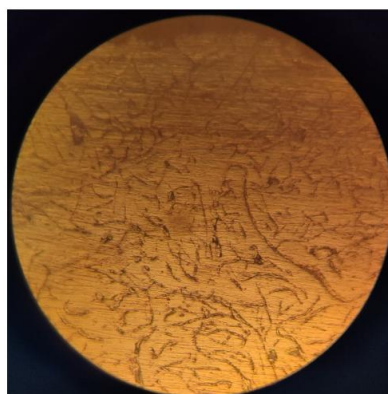


9-сурет. БИОМЕД ММР-1 микроскобында микроқұрылымдық талдау

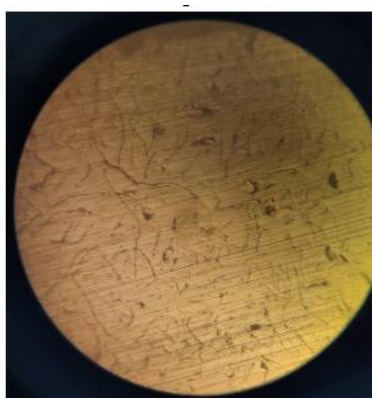
Әрбір көру өрісі үшін суреттер микроскопқа салынған камераның көмегімен түсірілді (10 сурет).



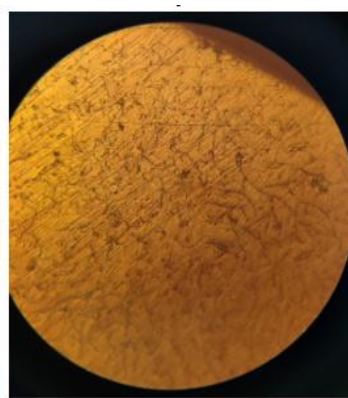
а)



ә)



б)



в)

10-сурет. Үлгілерді 200 есе ұлғайта отырып микроқұрылымдық талдау нәтижелері: а – бірінші; ә – екінші; б – үшінші; в – төртінші

Суреттерді талдау үшін объектілердің ауданын өлшеуге мүмкіндік беретін ImageJ 1.54hx64 бағдарламасы қолданылды. Бағдарлама автоматты түрде қосу санын (N_g) және олардың аудандарын анықтайды (S_i , мұндағы $i=1,2,3,...,N_g$).

Графит аймақтарының орташа ауданы келесі формула бойынша есептеледі:

$$S_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} S_i}{N_g} \quad (1)$$

Графиттің жалпы ауданы:

$$A_g = \sum_{i=0}^{N_g} S_i \quad (2)$$

Микроқұрылымды талдау нәтижелері бойынша сұр шойындағы графиттің таралуын бағалауға мүмкіндік беретін параметрлер есептелді (2 кесте), бұл оның механикалық қасиеттері мен жылу өткізгіштігіне әсер ететін негізгі фактор болып табылады.

2-кесте. Өлшеу және есептеу нәтижелері

№	Кесу жылдамдығы, айн/мин	Кесу тереңдігі, мм	Қаттылық, НВ	$N_g, \mu\text{m}^2$	$S_{avg}, \mu\text{m}^2$	$A_g, \mu\text{m}^2$
1	-	-	255	8	218,31	1745,5
2	900	0,5	257,1	6	279,83	1968,0
3	2000	1,5	256,1	10	204,3	1 225,0
4	3000	0,5	261,5	12	393,7	2 181,0

Регрессиялық талдау

Айнымалылар арасындағы тәуелділікті анықтау үшін біз регрессиялық талдау жүргіземіз, ол анықталған заңдылықтар негізінде нәтижелерді болжауға мүмкіндік беретін деректерді математикалық өңдеудің негізгі әдістерінің бірі. Осы зерттеу кезінде бұл талдау технологиялық параметрлер (өңдеу режимдері) мен материалдың қаттылығы, беттің кедір-бұдырлығы және микроқұрылымдық өзгерістер сияқты қорытынды сипаттамалар арасындағы байланысты талдау үшін қолданылады.

Регрессиялық талдаудың мақсаты өңделген материалдың қасиеттеріне әсер ететін негізгі факторларды анықтау және осы тәуелділіктерді сипаттайтын математикалық модель құру болып табылады. Бұл тәсіл дайын өнімнің сапасын жақсартып отырып, технологиялық процестерді оңтайландыруға мүмкіндік береді. Бірінші үлгі ($\varnothing 40\text{мм}$) механикалық өңделмегендіктен регрессиялық талдау кезінде ескерілмеген. Қалған әр өңделген беттің кедір-бұдырлығы (y) үш рет өлшенді. Экспериментті жоспарлаудың бастапқы деректері 3-кестеде келтірілген.

z_1 – өңдеу жылдамдығы, айн/мин. $z_1^- = 900, z_1^+ = 3000$

z_2 – кесу тереңдігі, мм. $z_2^- = 0,5, z_2^+ = 1,5$

z_3 – қаттылық, НВ. $z_3^- = 256,1, z_3^+ = 261,5$

z_4 – графит аймақтарының саны (N_g), μm^2 . $z_4^- = 6, z_4^+ = 12$

z_5 – графит аймағының орташа ауданы (S_{avg}), μm^2 $z_5^- = 204,3, z_5^+ = 393,7$

z_6 – графиттің жалпы ауданы (A_g), μm^2 . $z_2^- = 1225, z_2^+ = 2181$

y – беттің кедір-бұдырлығы, мкм.

3-кесте. Экспериментті жоспарлауға арналған бастапқы деректер

Эксперимент №	Зерттелетін факторлар						Тәжірибе нәтижелері		
	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	y_1	y_2	y_3
1	900	0,5	257,1	6	279,83	1968,0	6,3	6,3	5
2	2000	1,5	256,1	10	204,3	1 225,0	6,3	5	4
3	3000	0,5	261,5	12	393,7	2 181,0	3,2	2	2,5

Әрбір фактор үшін (3) формула бойынша центрді анықтаймыз, кодталған айнымалының x_i өзгеру аралығын және берілген z_i -ге тәуелділігін табамыз. Нәтижелерді кесте түрінде жазамыз (4 кесте).

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\lambda_i} \quad (3)$$

мұнда z_i^0 – центр, λ_i – өзгеру аралығы.

4-кесте. Факторларды кодтау

Факторлар	Жоғарғы деңгей z_i^+	Төменгі деңгей z_i^-	Центр z_i^0	Өзгеру аралығы λ_i	Кодталған айнымалының берілгендегі мәніне тәуелділігі
z_1	2000	900	1450	550	$x_1 = z_1 - 1450/550$
z_2	1,5	0,5	1	0,5	$x_2 = z_2 - 1/0,5$
z_3	261,5	256,1	258,8	2,7	$x_3 = z_3 - 258,8/2,7$
z_4	12	6	9	3	$x_4 = z_4 - 9/3$
z_5	393,7	204,3	299	94,7	$x_5 = z_5 - 299/94,7$
z_6	2181	1225	1703	478	$x_6 = z_6 - 1703/478$

Барлық өзара әрекеттесулерді және жауаптың орташа мәндерін ескере отырып жоспарлау матрицасын құрамыз (5 кесте).

5-кесте. Нәтижелерді өңдеуге арналған жоспарлау матрицасы

Эксперимент №	Факторлар						Өзара әрекеттесу							Тәжірибе нәтижелері			Нәтижелердің орташа мәні y_j
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x1x2	x1x3	x1x4	x1x5	x1x6	x1...6	y1	y2	y3		
1	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	6,3	6,3	5	5,86	
2	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	6,3	5	4	5,1	
3	+	-	+	+	+	+							3,2	2	2,5	2,56	

Регрессия теңдеуінің коэффициенттерін, қайталану дисперсиясын (4), (5) формулалар бойынша есептейміз. Есептеу нәтижелері 6-кестеде келтірілген.

$$b_0 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \bar{y}_j; b_j = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_j \bar{y}_j \quad (4)$$

Қайталану дисперсиясы:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j^2 \quad (5)$$

6-кесте. Есептің нәтижелері

j	$\bar{y}_j$	$(y_{j1} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j2} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j3} - \bar{y}_j)^2$	S_j^2
1	5,86	0,1936	0,1936	0,7921	0,589
2	5,1	0,44	0,01	1,21	0,83
3	2,56	0,4096	0,3136	0,0036	0,3634

Кодталған айнымалылардағы регрессия теңдеуін аламыз:

$$y = -0,740 + 0,5621x_4 \quad (6)$$

Натурал айнымалыларда регрессия теңдеуінің (6) x_1 орнына 4-кестенің соңғы бағанының бірінші жолынан алынған z_i өрнектерін ауыстырып жазамыз:

$$y = -0,740 + 0,5621 \left(\frac{z_4 - 9}{3} \right)$$

Бұл теңдеуді түрлендіре отырып регрессиялық теңдеуді аламыз:

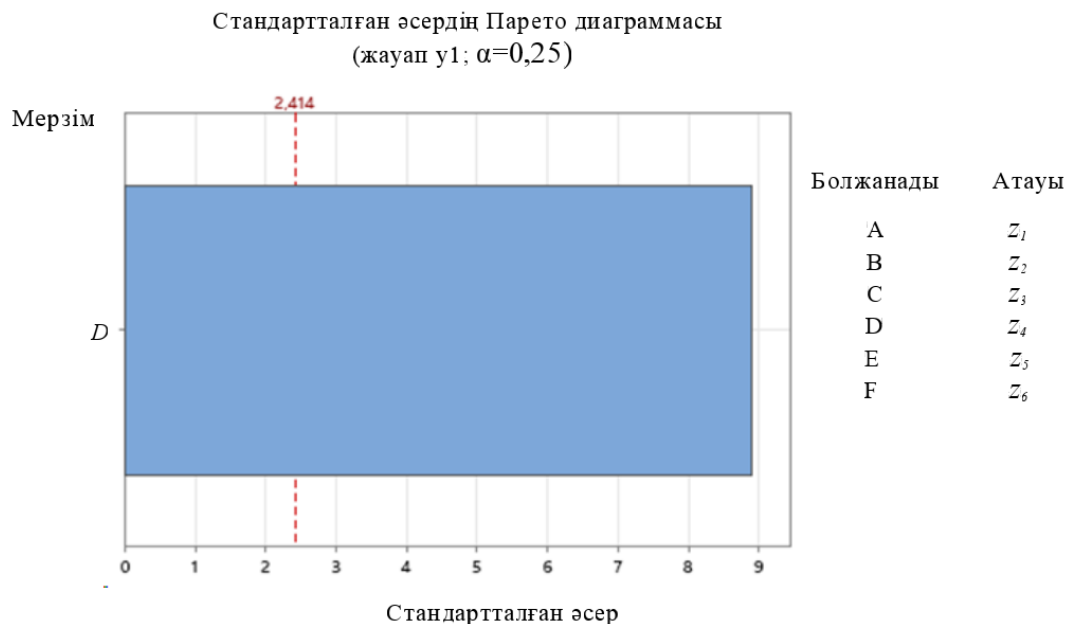
$$y = 0,187z_4 - 2,43 \quad (9)$$

Нәтижелер және талқылау

Үлгілердің кесу аймағындағы құрылымын өзгерту механизмі (10-сурет), кесу кезіндегі сұр шойынның графитті қосындыларының пішіні мен сипаты бірнеше факторлармен байланысты: жылудың әсері, механикалық деформация, үйкеліс және кескіш құралмен өзара әрекеттесу. 4-үлгіде анықталған ақ аймақ мынаны көрсетеді, яғни графиттегі көміртек аустенит матрицасында еріп, темірмен әрекеттеседі, нәтижесінде цементит – Fe_3C (кесу аймағындағы температура $1000^\circ C$) түзіледі. Бұл температурада, яғни, бет аустениттік күйде болғанда графит феррит және перлитті матрицада ериді, көміртекпен қаныққан матрица тез салқындаған кезде карбидтердің бөлінуіне бейім болады. Сонымен қатар, жоғары қысым, кесу аймағындағы деформацияға ықпал етеді, бұл көміртектің диффузиясына және карбидтердің түзілуіне ықпал етеді. Кесу аймағында цементиттің пайда болуы қаттылықтың жоғарылауына әкеледі ($261,5HB$), өйткені цементит графит немесе перлит құрылымына қарағанда едәуір қатты. Басқа үлгілердегі құрылымдық өзгерістер анықталмады, өйткені 3000 айн/мин - нен төмен жылдамдықта бөлінген жылу көлемі аз болғандықтан, сұр шойынның бастапқы құрылымы сақталған.

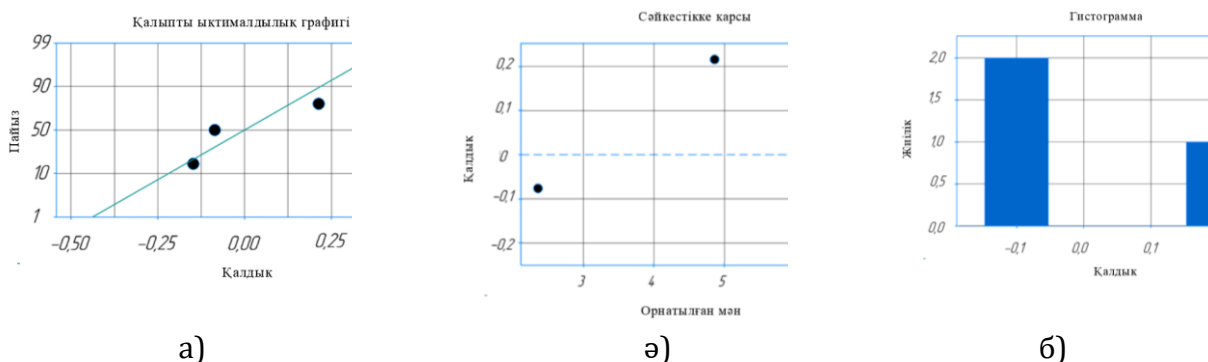
Жоғары жылдамдықпен өңделу кезінде пайда болған бет шойыннан әзірленген жоғары үйкеліс жағдайында жұмыс істейтін бөлшектер үшін тиімді жағдай.

Регрессия моделіндегі факторлардың маңыздылығын бағалау үшін Парето диаграммасы қолданылды. Графикте (11 сурет) көлденең ось бойынша стандартталған әсер (фактор үлесінің шамасы), ал тік осьте - факторлар (z_1, z_2, z_3 және т.б.) көрсетіледі.



11-сурет. Парето диаграммасы

Қызыл тік сызық критикалық мәнді (бұл жағдайда 2,414) көрсетеді. Бұл мән сенімділік деңгейіне (95%) негізделген маңыздылық шегін анықтайды. Егер фактор бағанасы қызыл сызықты кесіп өтсе онда бұл фактор статистикалық маңызды. Графиктен D факторы (z_4 - графит аймақтарының саны) маңызды болғанын көруге болады. Қалған факторлар (мысалы, $z_1, z_2, z_3 \dots z_6$) берілген модельде маңызды емес.



12-сурет. Беттің кедір-бұдырлығының орташа көрсеткішінің қалдық графиктері

Қалдық графигі арқылы (сурет.12) регрессиялық модельді тексереміз. Қалыпты ықтималдық графигіндегі (12 сурет, а) нүктелер диагональды сызыққа жақын орналасқан,

яғни қалдықтардың таралуы қалыпты. Болжалды мәндерге қарсы қалдық графигінде (12 сурет, ә) қалдықтар көлденең ($y = 0$) сызықтың айналасында қалдықтар кездейсоқ көрінеді, бұл модельдің дұрыстығын растайды. Қалдықтардың таралуын сипаттайтын (12, б -сурет) гистограмма бойынша олар симметриялы және таралуы қалыптыға жақын.

Қорытынды

1. СББ токарлық станогында СШ20 сұр шойын бетінің сапалық сипаттамалары мен кесу режимдері арасында байланыс орнатылды. Оңтайлы режимдер кедір-бұдырды азайтуға және материалдың микроқұрылымын жақсартуға мүмкіндік береді.

2. СШ20 сұр шойын дайындамаларын қолдана отырып кешенді эксперимент жүргізілді. 900, 2000 және 3000 айн/мин кесу жылдамдығындағы беттің кедір-бұдырлық параметрлері, Виккерс қаттылығы және микроқұрылымдық өзгерістер зерттелді.

3. Кесу жылдамдығы 3000 айн/мин кезінде өңделген бетте цементитті ақ аймақ пайда болады, ол беттің қаттылығын 261,5 НВ дейін арттырып, оның тозуға төзімділігін жоғарылатады. Бұл құбылыс термомеханикалық процестерге, соның ішінде графиттің еруіне және карбидтердің түзілуіне байланысты.

4. Регрессиялық талдау (9) шойын құрылымындағы графит аймақтарының саны (N_g) беттің кедір-бұдырына әсер ететін маңызды фактор екенін көрсетті. Математикалық модель кедір-бұдырлықты технологиялық параметрлермен байланысты болжауға мүмкіндік береді.

5. Микроқұрылымдық талдау жоғары кесу жылдамдығында үйкеліс және жоғары жүктеме жағдайында жұмыс істейтін біліктер мен берілістер сияқты бөлшектер үшін пайдалы болуы мүмкін жаңа фазалық құрылым пайда болатынын растады.

6. Эксперименттік мәліметтер ұсынылған әдістердің тиімділігін растады, бұл дайын өнімнің сапасын жақсарту және термиялық өңдеу шығындарын (шынықтыру, жақсарту) азайту үшін механикалық өңдеу процестерін оңтайландыруға мүмкіндік берді.

Алғыс, мүдделер қақтығысы

Авторлар мүдделі қақтығыстардың жоқтығын растайды.

Авторлардың қосқан үлесі

Бузауова Т.М. – сұр шойынды өңдеу бойынша тәжірибелік зерттеулер жүргізді, үлгілерді дайындап, микроқұрылымды микроскоп арқылы зерттеу жұмыстарын орындады, өңдеу процесін математикалық тұрғыдан модельдеді, мақаланы жазды.

Бусурманова А.Е.- алынған деректерді Minitab бағдарламасында өңдеді және графиктерді құрды.

Әдебиеттер тізімі

1. Osama Khayal. Literature review on lathe machine // Nile Valley University. – 2019. - Vol. 1. – P 32.Das
2. S. R.Mahapatra S. S., Sahoo S. K. Surface Roughness Model for Turning Grey Cast Iron // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture – 1993. - Vol. 2. – P. 292-304.

3. Lina Zhang, Aldrin D. Calderon. Research and prospects of CNC lathe // Zheng Zhou Business University. – 2024. - Vol. 3. – P. 8.
4. Ivanov I.I., Petrov P.P. Vliyanie parametrov obrabotki na sherohovatost' poverhnosti pri frezerovanii s CHPU // Journal of Manufacturing Processes. – 2018. – № 15. – S. 10-12.
5. Smirnova A.A., Kuznecov D.D. Analiz faktorov, vliyayushchih na kachestvo poverhnosti pri tokarnoj obrabotke s CHPU // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – № 2. – S. 294-296.
6. Li H., Zhang V. Optimization of cutting modes to improve surface quality in CNC drilling // Precision Engineering. – 2020. - Vol. 10. – P. 25-28.
7. Johnson M., Williams R. Modeling and forecasting of surface roughness during CNC grinding // Journal of Materials Processing Technology. – 2017. - Vol. 7. – P. 14.
8. Kim S., Park J. The effect of tool wear on surface quality during CNC milling // Precision Engineering. – 2024. - Vol. 25. – P. 487.
9. Gonzalez L., Rodriguez F. Analysis of vibrations and their effect on surface roughness during CNC turning. Mechanical Systems and Signal Processing // Precision Engineering. – 2021. - Vol. 46. – P. 76.
10. Chen Yu., Lee K. Application of machine learning methods to predict surface roughness during CNC machining // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2022. - Vol. 48. – P. 1030.
11. Ahmed N., Hussein M. The effect of coolants on surface roughness in CNC machining // Tribology International. – 2015. - Vol. 26. – P. 131.

Т.М. Бузауова*, А.Е Бусурманова

*НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
Караганда, Казахстан*

**Механическая обработка серого чугуна на станках с ЧПУ: проблемы,
математическое моделирование**

Аннотация. В работе проведен комплексный анализ особенностей механической обработки серого чугуна марки СЧ20 на токарных станках с ЧПУ, с акцентом на шероховатость поверхности, микроструктурные изменения и оптимизацию технологических параметров. Исследования включали использование современных измерительных приборов для оценки параметров шероховатости (Ra), твердости по Виккерсу (HV) и характеристик графитовых включений в структуре материала. Проведенные эксперименты показали, что увеличение скорости резания до 3000 об/мин приводит к формированию цементитной белой зоны в зоне резания, что повышает твердость поверхности до 261,5 HV и улучшает её износостойкость. В то же время низкие скорости резания сохраняют ферритно-перлитную структуру без значительных изменений графита. Математическое моделирование, выполненное с использованием регрессионного анализа, выявило ключевые технологические факторы, влияющие на шероховатость и микроструктуру. Наибольшее значение в модели имеет количество графитовых областей (Ng), что подтверждается диаграммой Парето. Построенная математическая модель позволяет прогнозировать шероховатость поверхности в зависимости от режимов обработки и оптимизировать технологический процесс.

Полученные результаты указывают на возможность целенаправленного управления микроструктурой и свойствами материала при обработке серого чугуна для создания поверхностей с повышенной твердостью и износостойкостью. Это особенно актуально для изготовления деталей, работающих в условиях интенсивного трения и высоких нагрузок, таких как зубчатые колеса и валы. Методики, предложенные в работе, позволяют снизить затраты на термическую обработку и улучшить качество готовой продукции.

Ключевые слова: серый чугун, шероховатость, режимы резания, токарный станок с ЧПУ, математическое моделирование, микроструктурный анализ.

T.M.Buzauova*, A.E. Busurmanova

NJSC "Abylkas Saginov Karaganda Technical University", Karaganda, Kazakhstan

Machining of grey cast iron on CNC machines: problems, mathematical modeling

Abstract. This study provides a comprehensive analysis of the mechanical machining of gray cast iron (grade SCH20) on CNC lathes, focusing on surface roughness, microstructural changes, and optimization of technological parameters. The research involved the use of modern measurement tools to evaluate surface roughness (Ra), Vickers hardness (HV), and characteristics of graphite inclusions in the material's structure. The experiments revealed that increasing the cutting speed to 3000 rpm results in the formation of a cementite white zone in the cutting area, enhancing the surface hardness to 261.5 HV and improving wear resistance. In contrast, lower cutting speeds preserve the ferrite-pearlite structure with minimal changes to the graphite inclusions. Mathematical modeling, performed through regression analysis, identified key technological factors influencing surface roughness and microstructure. The number of graphite inclusions (Ng) was found to be the most significant factor, as confirmed by the Pareto chart. The developed mathematical model enables the prediction of surface roughness based on machining parameters and optimizes the machining process. The results demonstrate the possibility of purposefully controlling the microstructure and material properties during the machining of gray cast iron to produce surfaces with increased hardness and wear resistance. This is particularly relevant for manufacturing components operating under intense friction and heavy loads, such as gears and shafts. The proposed methods offer a cost-effective alternative to heat treatment while improving the quality of finished products.

Keywords: gray cast iron, roughness, cutting modes, SBB lathe, mathematical modeling, microstructural analysis.

References

1. Osama Khayal. Literature review on lathe machine // Nile Valley University. – 2019. - Vol. 1. – P. 32.
2. Das S. R., Mahapatra S. S., Sahoo S. K. Surface Roughness Model for Turning Grey Cast Iron // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture – 1993. - Vol. 2. – P. 292-304.
3. Lina Zhang, Aldrin D. Calderon. Research and prospects of CNC lathe // Zheng Zhou Business University. – 2024. - Vol. 3. – P. 8.

4. Ivanov I.I., Petrov P.P. Vliyanie parametrov obrabotki na sherohovatost' poverhnosti pri frezerovanii s CHPU // Journal of Manufacturing Processes. – 2018. – № 15. – S. 10-12.
5. Smirnova A.A., Kuznecov D.D. Analiz faktorov, vliyayushchih na kachestvo poverhnosti pri tokarnoj obrabotke s CHPU // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – № 2. – S. 294-296.
6. Li H., Zhang V. Optimization of cutting modes to improve surface quality in CNC drilling // Precision Engineering. – 2020. – Vol. 10. – P. 25-28.
7. Johnson M., Williams R. Modeling and forecasting of surface roughness during CNC grinding // Journal of Materials Processing Technology. – 2017. – Vol. 7. – P. 14.
8. Kim S., Park J. The effect of tool wear on surface quality during CNC milling // Precision Engineering. – 2024. – Vol. 25. – P. 487.
9. Gonzalez L., Rodriguez F. Analysis of vibrations and their effect on surface roughness during CNC turning. Mechanical Systems and Signal Processing // Precision Engineering. – 2021. – Vol. 46. – P. 76.
10. Chen Yu., Lee K. Application of machine learning methods to predict surface roughness during CNC machining // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2022. – Vol. 48. – P. 1030.
11. Ahmed N., Hussein M. The effect of coolants on surface roughness in CNC machining // Tribology International. – 2015. – Vol. 26. – P. 131.

Авторлар туралы мәлімет:

Бузауова Т. М. – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, ТЖМжәнеС кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Назарбаев даңғ. 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан

Бусурманова А.Е. – 2 курс магистранты, ТЖМжәнеС кафедрасы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Назарбаев даңғ. 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан

Бузауова Т. М. – автор для корреспонденции, кандидат технических наук, доцент, кафедра ТОМиС, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, пр. Назарбаева 56, 100027, Караганда, Казахстан

Бусурманова А.Е. – магистрант 2 курса, кафедра ТОМиС, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, пр. Назарбаева 56, 100027, Караганда, Казахстан

Buzauova T. M. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, TEMES Department, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nazarbayev Ave., 100027, Karaganda, Kazakhstan

Bussurmanova A. E. – 2nd year Master's student, TEMES Department, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nazarbayev Ave., 100027, Karaganda, Kazakhstan



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).