



Statistik jarayonlar nazorati (SPC) va o'lchash tizimlari tahlili (MSA) asosida ishlab chiqarish jarayonlari barqarorligini ta'minlash

Sativaldiev Aziz Kahramanovich,

Andijon davlat texnika instituti, Metrologiya va yengil sanoat kafedrası, dotsent

E-mail: a.sativaldiev@gmail.com tel: +998 91 169 94 08

Tursunov Botirjon Tolibjon o'g'li

Andijon davlat texnika instituti, tayanch doktorant

E-mail: tursunovbotirjon51@gmail.com tel: +998 97 991 70 40

ANNOTATSIYA

Maqolada ishlab chiqarish jarayonlari barqarorligini ta'minlashda statistik jarayonlar nazorati (Statistical Process Control - SPC) va o'lchash tizimlarini tahlil qilish (Measurement Systems Analysis - MSA) usullarini qo'llashning ilmiy-amaliy jihatlari tadqiq etilgan. Misol sifatida avtomobilsozlikda qo'llaniladigan COVER ASM - STRG COL LWR detalining nazorat qilinadigan o'lcham parametri tanlangan. Jarayon barqarorligi $\bar{X}$ -R nazorat kartalari, jarayon qobiliyati Cp va Cpk hamda jarayon unumdorligi Pp va Ppk ko'rsatkichlari orqali baholangan. O'lchash tizimining ishonchliligi esa takrorlanuvchanlik (EV), qayta tiklanuvchanlik (AV), ularning yig'ma ko'rsatkichi GRR va farqlanadigan kategoriyalar soni (ndc) asosida aniqlangan. 125 ta o'lchash natijasi bo'yicha jarayon o'rtachasi 3,9988 mm, Cp=1,319 va Cpk=1,835 ni tashkil etdi; nazorat kartalarida jarayonning statistik nazorat chegaralaridan chiqishi aniqlanmadi. MSA tadqiqotida %EV=20,22 %, %AV=3,20 %, %GRR=20,47 % va ndc=6,74 natijalari olindi. Natijalar o'lchash tizimining jarayonni tahlil qilish uchun yetarli darajada farqlash qobiliyatiga ega ekanligini, biroq takrorlanuvchanlik komponenti bo'yicha takomillashtirish zaxirasi mavjudligini ko'rsatdi. Taklif etilgan SPC-MSA ketma-ketligi sifat ko'rsatkichlarini baholashda o'lchash xatosi bilan haqiqiy jarayon variatsiyasini ajratish va boshqaruv qarorlarining ishonchliligi oshirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar:

SPC, MSA, statistik jarayonlar nazorati, o'lchash tizimi, takrorlanuvchanlik, qayta tiklanuvchanlik, GRR, $\bar{X}$ -R nazorat kartasi, Cp, Cpk, Pp, Ppk jarayon barqarorligi, avtomobilsozlik.

Обеспечение стабильности производственных процессов на основе статистического контроля процессов (SPC) и анализа систем измерений (MSA)

АННОТАЦИЯ

В статье изучаются научные и практические аспекты использования методов статистического контроля процессов (СПК) и анализа измерительных систем (АИС) для обеспечения стабильности производственных процессов. В качестве примера выбран контролируемый размерный параметр детали COVER ASM - STRG COL LWR, используемой в автомобильной промышленности. Стабильность процесса оценивалась с помощью контрольных карт $\bar{X}$ -R, производительности процесса Cp и Cpk, а также

Ключевые слова:

SPC, MSA, статистический контроль процессов, измерительная система, повторяемость, воспроизводимость, GRR, контрольная



производительности процесса P_p и P_{pk} . Надежность измерительной системы определялась на основе повторяемости (EV), воспроизводимости (AV), их кумулятивного показателя GRR и количества различных категорий (ndc). Среднее значение процесса, основанное на 125 результатах измерений, составило 3,9988 мм, $C_p=1,319$ и $C_{pk}=1,835$; отклонений процесса от пределов статистического контроля на контрольных картах не обнаружено. Исследование АИС показало $\%EV=20,22\%$, $\%AV=3,20\%$, $\%GRR=20,47\%$ и $ndc=6,74$. Результаты показали, что система измерений обладает достаточной разрешающей способностью для анализа процесса, но есть возможности для улучшения компонента повторяемости. Предложенная последовательность SPC-MSA позволяет отделить ошибку измерения от истинной вариации процесса при оценке показателей качества и повышает надежность управленческих решений.

диаграмма $\bar{X}$ -R, C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk}
стабильность
процесса,
автомобильная
промышленность.

Ensuring the stability of manufacturing processes based on statistical process control (SPC) and measurement systems analysis (MSA)

ABSTRACT

The article examines the scientific and practical aspects of applying Statistical Process Control (SPC) and Measurement Systems Analysis (MSA) methods to ensure the stability of manufacturing processes. A controlled dimensional parameter of the "COVER ASM - STRG COL LWR" component, used in the automotive industry, was selected as a case study. Process stability was evaluated using $\bar{X}$ -R control charts, while process capability (C_p and C_{pk}) and process performance (P_p and P_{pk}) indices were also assessed. The reliability of the measurement system was determined based on repeatability (EV), reproducibility (AV), their combined metric (GRR), and the number of distinct categories (ndc). Based on 125 measurement results, the process mean was 3.9988 mm, with $C_p=1.319$ and $C_{pk}=1.835$; no instances of the process exceeding statistical control limits were detected on the control charts. The MSA study yielded the following results: $\%EV=20.22\%$, $\%AV=3.20\%$, $\%GRR=20.47\%$, and $ndc=6.74$. These results indicate that the measurement system possesses sufficient discrimination capability for process analysis, although there is room for improvement regarding the repeatability component. The proposed SPC-MSA sequence makes it possible to distinguish actual process variation from measurement error when evaluating quality indicators and to enhance the reliability of management decisions.

Key words:

SPC, MSA, statistical process control, measurement system, repeatability, reproducibility, GRR, $\bar{X}$ -R control chart, C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} process stability, automotive industry.

Kirish. Zamonaviy ishlab chiqarish korxonalarida mahsulot sifatini faqat yakuniy nazorat natijalari bilan baholash yetarli emas. Sifatni boshqarishning samaradorligi ishlab chiqarish jarayonida yuzaga keladigan variatsiyani o'z vaqtida aniqlash, uning statistik holatini baholash va nomuvofiqliklarning oldini olishga bog'liq. Ayniqsa, avtomobilsozlik kabi aniqlik, takrorlanuvchanlik va xavfsizlik talablari yuqori bo'lgan tarmoqlarda jarayonning statistik barqarorligini doimiy nazorat qilish muhim ahamiyatga ega.

Statistik jarayonlar nazorati jarayonning vaqt bo'yicha o'zgarishini nazorat kartalari yordamida kuzatish, tasodifiy va maxsus sababli variatsiyalarni farqlash hamda jarayon qobiliyatini miqdoriy baholashga imkon beradi. ISO 7870-2:2023 Shewhart nazorat kartalaridan foydalanish va



ularni talqin qilish bo'yicha xalqaro yo'riqnomani belgilaydi [1]. ISO 22514-1 esa jarayon qobiliyati va unumdorligini baholashning umumiy tamoyillarini belgilaydi [2].

SPC natijalarining ishonchliligi o'lchash tizimining sifatiga bevosita bog'liq. Agar o'lchash tizimining o'z variatsiyasi katta bo'lsa, nazorat kartasida kuzatilayotgan o'zgarishlarning bir qismi real texnologik jarayondan emas, o'lchash jarayonidan kelib chiqishi mumkin. Shu sababli jarayonni statistik baholashdan oldin yoki u bilan parallel ravishda o'lchash tizimini MSA usuli orqali tekshirish zarur. AIAG MSA 4-nashri o'lchash ma'lumotlarining sifatini baholash va o'lchash tizimlarini takomillashtirish uchun repeatability va reproducibility tadqiqotlarini qo'llashni ko'rsatadi [3].

Ushbu tadqiqotning dolzarbligi SPC va MSA usullarini alohida emas, balki yagona boshqaruv ketma-ketligida qo'llash bilan izohlanadi. Bunda avvalo o'lchash tizimining qabul qilinadigan darajadagi variatsiyasi aniqlanadi, keyin ishlab chiqarish jarayonining statistik barqarorligi va qobiliyati baholanadi. Bunday yondashuv sifat menejmenti tizimida "ishonchli o'lchash - ishonchli tahlil - asoslangan boshqaruv qarori" zanjirini shakllantiradi.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili (Literature Review)

SPC konsepsiyasi ishlab chiqarish jarayonidagi variatsiyani statistik usullar bilan boshqarishga asoslanadi. Shewhart yondashuvi jarayonning markaziy tendensiyasi va tarqalishini vaqt bo'yicha kuzatish, nazorat chegaralaridan tashqariga chiqish yoki nostandart naqshlar paydo bo'lganda maxsus sabablarni izlash imkonini beradi. ISO 7870-2:2023 ushbu yondashuvni Shewhart nazorat kartalari doirasida tizimlashtiradi [4].

Jarayon qobiliyati ko'rsatkichlari jarayon tarqalishining belgilangan tolerantlik maydoniga nisbatan holatini ifodalaydi. Cp jarayonning potensial qobiliyatini, Cpk esa jarayon markazining tolerantlik chegaralariga nisbatan joylashuvini hisobga oladi. Pp kuzatilgan umumiy variatsiya asosidagi jarayon unumdorligini ifodalashda qo'llanadi. ISO 22514-1 jarayon qobiliyati va unumdorligini baholashni sifatni ta'minlash va jarayonni takomillashtirish vositasi sifatida ko'rib chiqadi [5].

MSA yondashuvi o'lchash natijasining o'zgaruvchanligi manbalarini o'rganishga qaratilgan. O'lchash tizimida repeatability bir operator va bir xil o'lchash vositasi sharoitida qayta o'lchashlardan keladigan variatsiyani, reproducibility esa turli operatorlar o'rtasidagi variatsiyani ifodalaydi. GRR ushbu ikki komponentning umumiy ta'sirini baholaydi. AIAG MSA qo'llanmasida o'lchash tizimi sifatini baholash jarayon sifatini boshqarishning muhim elementi sifatida ko'rsatiladi [6].

MSA natijalarini baholashda faqat bitta mezonga tayanish to'g'ri emas. %GRR o'lchash tizimi variatsiyasining umumiy variatsiyadagi ulushini ko'rsatadi, ndc esa o'lchash tizimi jarayon variatsiyasining nechta mazmunli darajasini ajrata olishini ifodalaydi. AIAG yondashuvida %GRR 10 % dan kichik bo'lsa odatda maqbul, 10-30 % oralig'ida esa qo'llash sohasi, xarajat va xavfga bog'liq holda shartli maqbul deb baholanadi; 30 % dan yuqori qiymatlar odatda takomillashtirish zarurligini ko'rsatadi [7].

ISO 22514 seriyasi jarayon va o'lchash jarayonlarining qobiliyatini baholashni statistik asosga qo'yadi. 2026-yilda e'lon qilingan ISO 22514-7:2026 o'lchash jarayonining muayyan o'lchash vazifasi talablarini qanoatlantira olishini validatsiya qilish va o'lchash jarayoni qobiliyatini baholash tartibini belgilaydi [8].

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, SPC ko'proq ishlab chiqarish jarayonining statistik holatini, MSA esa o'lchash ma'lumotlarining ishonchliligini baholaydi. Ularni birlashtirish esa sifat menejmentining amaliy qarorlarida o'lchash xatosi va texnologik variatsiyani ajratish imkonini beradi. Mazkur tadqiqotning ilmiy-amaliy jihati aynan shu ketma-ketlikni real avtomobilsozlik detalining o'lcham ma'lumotlari asosida ko'rsatishdan iborat [9,10].

Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotda avtomobilsozlikda ishlab chiqariladigan COVER ASM - STRG COL LWR detalining 424147152 raqamli qismi uchun $4,0 \pm 0,2$ mm nominal o'lcham parametri tanlandi.



Demak, pastki spetsifikatsiya chegarasi $LSL=3,8$ mm, yuqori spetsifikatsiya chegarasi $USL=4,2$ mm, tolerantlik kengligi $T=0,4$ mm.

SPC tadqiqotida 25 ta kichik guruh, har birida 5 tadan o'lchash natijasi, jami 125 ta kuzatuv ishlatildi. $\bar{X}$ -R nazorat kartalari yordamida kichik guruh o'rtachalari va razmaxlari baholandi. Jarayon o'rtachasi $\bar{X}$, o'rtacha razmax $\bar{R}$, nazorat chegaralari UCL va LCL, shuningdek C_p , C_{pk} va P_p ko'rsatkichlari hisobga olindi.

$\bar{X}$ -R kartasi uchun nazorat chegaralari $\bar{X}$ kartasi uchun $UCLx=\bar{X}+A_2\bar{R}$ va $LCLx=\bar{X}-A_2\bar{R}$; R kartasi uchun $UCLr=D_4\bar{R}$ va $LCLr=D_3\bar{R}$ formulalari orqali aniqlanadi. $n=5$ bo'lgan kichik guruh uchun $A_2=0,577$, $D_3=0$ va $D_4=2,114$ qiymatlaridan foydalanilgan.

Jarayon qobiliyati $C_p=(USL-LSL)/(6\sigma)$, $C_{pk}=\min[(USL-\mu)/(3\sigma), (\mu-LSL)/(3\sigma)]$ formulalari orqali baholandi. P_p umumiy standart og'ish asosida hisoblandi. Tadqiqotda ushbu indekslar jarayon tarqalishining tolerantlik maydoniga nisbatan holatini tavsiflash uchun qo'llandi.

MSA tadqiqotida $\bar{X}$ -R, ya'ni o'rtacha va razmaxlar usuli qo'llanildi. 10 ta detal tanlanib, 3 nafar operator tomonidan har bir detal 3 marta qayta o'lchandi. Olingan ma'lumotlardan repeatability - EV, reproducibility - AV, umumiy GRR, detal variatsiyasi - PV, umumiy variatsiya - TV va ndc ko'rsatkichlari aniqlandi.

MSA uchun $GRR=\sqrt{(EV^2+AV^2)}$; $TV=\sqrt{(GRR^2+PV^2)}$; $ndc=1,41(PV/GRR)$ formulalaridan foydalanildi. %EV, %AV, %GRR va %PV ko'rsatkichlari tegishli komponentning umumiy variatsiyaga nisbati sifatida hisoblanadi. Natijalarni talqin qilishda AIAG MSA tavsiyalari va o'lchash vazifasining xavf darajasi hisobga olindi [3].

Tadqiqotning konseptual ketma-ketligi: 1) o'lchash tizimini MSA orqali tekshirish; 2) o'lchash tizimining takrorlanuvchanligi va qayta tiklanuvchanligini baholash; 3) ma'lumotlar ishonchli bo'lsa SPCni amalga oshirish; 4) $\bar{X}$ -R kartalarida maxsus sabablarni aniqlash; 5) C_p , C_{pk} va P_p orqali qobiliyatni baholash; 6) nomuvofiqlik sabablarini aniqlash; 7) tuzatish choralarini joriy etish va SPC orqali qayta monitoring qilish [11,12].

Tahlil va natijalar

Birinchi bosqichda o'lchash tizimi tahlil qilindi. Fayldagi $\bar{X}$ -R MSA natijalariga ko'ra takrorlanuvchanlik komponenti $EV=0.00650$ mm va %EV=20.22 % ni tashkil etdi. Operatorlararo variatsiyani ifodalovchi $AV=0.00103$ mm, %AV=3.20 % bo'ldi. Demak, mazkur o'lchash tizimidagi asosiy variatsiya manbai operatorlar farqidan ko'ra bir xil operatorning qayta o'lchashlaridagi takrorlanuvchanlik komponentiga to'g'ri keladi.

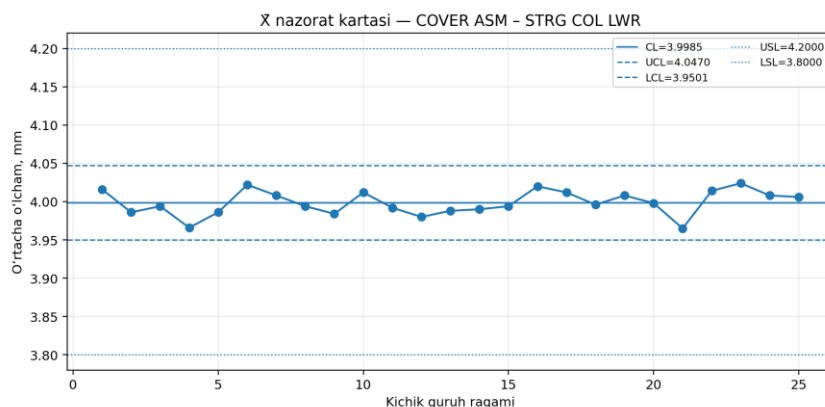
1-jadval.

MSA bo'yicha o'lchash tizimining asosiy ko'rsatkichlari

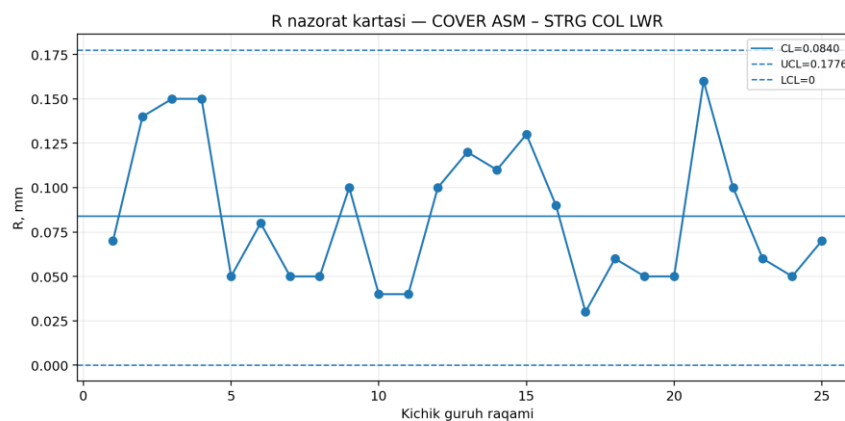
Ko'rsatkich	Qiymat	Ulush, %	Talqin
EV - takrorlanuvchanlik	0.00650 mm	20.22	Asosiy o'lchash variatsiyasi manbai
AV - qayta tiklanuvchanlik	0.00103 mm	3.20	Operatorlararo ta'sir kichik
GRR - o'lchash tizimi	0.00658 mm	20.47	10-30 %: shartli maqbul
PV - detal variatsiyasi	0.03146 mm	97.88	Asosiy variatsiya detalga tegishli
TV - umumiy variatsiya	0.03214 mm	100.00	GRR va PV yig'ma ta'siri
ndc	6.74	-	5 dan yuqori; farqlash qobiliyati yetarli

MSA natijalarida %GRR=20.47 % bo'lib, bu qiymat 10-30 % oralig'iga tushadi. Shuning uchun o'lchash tizimini mazkur ishlab chiqarish vazifasida qo'llash mumkin, biroq uni ideal deb baholashga asos yo'q: takrorlanuvchanlikni kamaytirish bo'yicha yaxshilash ishlari talab etiladi. $ndc=6.74$ qiymati esa o'lchash tizimi detal variatsiyasini bir nechta mazmunli kategoriyalarga ajrata olishini ko'rsatadi.

Ikkinchi bosqichda SPC tahlili amalga oshirildi. 125 ta o'lchash natijasining umumiy o'rtacha qiymati 3.9985 mm atrofida bo'lib, nominal 4,0 mm ga yaqin joylashgan. $\bar{X}$ kartasi uchun markaziy chiziq 3.99852 mm, yuqori nazorat chegarasi 4.04699 mm, quyi nazorat chegarasi 3.95005 mm sifatida hisoblangan. R kartasida o'rtacha razmax 0.0840 mm, yuqori nazorat chegarasi 0.17758 mm va quyi nazorat chegarasi 0 mm ni tashkil etdi.



1-rasm. 25 ta kichik guruh bo'yicha $\bar{X}$ nazorat kartasi



2-rasm. 25 ta kichik guruh bo'yicha R nazorat kartasi

$\bar{X}$ kartasi ma'lumotlarida barcha kichik guruh o'rtachalari hisoblangan nazorat chegaralari ichida joylashgan. R kartasida ham kuzatilgan razmaxlar UCLr qiymatidan oshmagan. Fayldagi diagnostika ko'rsatkichlarida X kartasi bo'yicha nazorat chegarasidan tashqari nuqtalar soni 0, R kartasi bo'yicha ham 0 sifatida qayd etilgan. Bu holat jarayonning kuzatilgan davrda statistik jihatdan barqarorligini ko'rsatadi.

2-jadval.

SPC jarayon nazorati va qobiliyati ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	Qiymat	Izoh
Nominal o'lcham	4,000 mm	Belgilangan nominal
LSL / USL	3,800 / 4,200 mm	Spetsifikatsiya chegaralari
Kuzatuvlar soni	125	25 kichik guruh $\times$ 5
Jarayon o'rtachasi	3.9985 mm	Nominalga yaqin
$\bar{R}$	0.0840 mm	O'rtacha razmax
UCLx / LCLx	4.0470 / 3.9501 mm	$\bar{X}$ kartasi
UCLr / LCLr	0.1776 / 0.0000 mm	R kartasi
Cp	1.319	Potensial qobiliyat
Cpk	1.835	Markazlashuvni hisobga oladi
Pp	1.532	Umumiy unumdorlik
CR	0.542	Qobiliyat nisbati
σ , n-1	0.03626 mm	Tanlanma standart og'ish



$C_p=1.319$ jarayon tarqalishining tolerantlik maydoniga nisbatan yetarli qobiliyatga ega ekanligini ko'rsatadi, $C_{pk}=1.835$ esa jarayon markazlashuvi yaxshi ekanligini bildiradi. C_{pk} ning C_p dan katta bo'lishi hisoblashlarda jarayonning tolerantlik maydoniga nisbatan markazlashgan holatini ko'rsatadi. $P_p=1.532$ qiymati esa umumiy variatsiya nuqtayi nazaridan jarayonni uzoqroq davrda kuzatish zarurligini ko'rsatadi.

Natijalarni birgalikda talqin qilish muhim. Faqat C_{pk} ko'rsatkichiga qaralganda jarayon qobiliyati yuqori ko'rinadi. Biroq MSAda $\%GRR=20.47\%$ bo'lishi o'lchash tizimining o'z variatsiyasi umumiy o'zgaruvchanlikning sezilarli qismini tashkil etishini anglatadi. Demak, jarayon qobiliyatini yanada aniq baholash uchun o'lchash tizimini takomillashtirish va keyingi davrda MSAni qayta o'tkazish maqsadga muvofiq.

Asosiy takomillashtirish yo'nalishi operatorlararo farq emas, balki repeatability komponentidir. Repeatabilityni kamaytirish uchun o'lchash vositasining texnik holatini tekshirish, kalibrlash intervalini asoslash, o'lchash moslamasini mexanik jihatdan barqarorlashtirish, detalni o'lchashda joylashtirish va o'lchash kuchini standartlashtirish, o'lchash sharoitlarini bir xillashirish hamda operatorlar uchun yagona o'lchash yo'riqnomasini joriy etish tavsiya etiladi.

SPC nuqtayi nazaridan jarayonning nazorat chegaralari ichida qolishi uning doimiy ravishda o'zgarishsiz qolishini anglatmaydi. Nazorat kartalari muntazam yangilanib, maxsus sababli variatsiya belgilariga nisbatan tahlil qilinishi kerak. Jarayon parametrlari yoki xomashyo, uskuna, operator, qolip, o'lchash vositasi kabi 4M omillaridan biri o'zgarganda SPC va zarurat bo'lsa MSA qayta ko'rib chiqilishi kerak.

SPC va MSA usullarini integratsiyalashgan qo'llash algoritmi

Tadqiqot natijalariga asoslanib ishlab chiqarish jarayonlarini barqaror boshqarish uchun quyidagi algoritmi taklif etiladi: MSA, o'lchash tizimini qabul qilish, dastlabki ma'lumotlarni yig'ish, $\bar{X}$ -R nazorat kartalari, maxsus sabablarni aniqlash, jarayon qobiliyatini $C_p/C_{pk}/P_p$ orqali baholash, nomuvofiqlik sabablarini aniqlash, tuzatish choralari joriy etish, SPC orqali qayta monitoring, MSAni davriy qayta baholash.

3-jadval.

SPC-MSA integratsiyalashgan boshqaruv algoritmi

Bosqich	Amal	Asosiy vosita	Qaror
1	O'lchash tizimini tekshirish	MSA, EV, AV, GRR, ndc	Tizimni qo'llash yoki takomillashtirish
2	Jarayon ma'lumotlarini yig'ish	Rejalashtirilgan tanlanma	Ishonchli ma'lumotlar bazasi
3	Statistik barqarorlikni tekshirish	$\bar{X}$ -R kartalari	Maxsus sabab mavjud/mavjud emas
4	Jarayon qobiliyatini baholash	C_p , C_{pk} , P_p	Qobiliyat holati
5	Sabablarni tahlil qilish	4M, 5 Why, Pareto	Asosiy sabablarni aniqlash
6	Tuzatish va takomillashtirish	CAPA/PDCA	Jarayonni yaxshilash
7	Qayta nazorat	SPC + MSA	Natijani tasdiqlash

Mazkur algoritmning muhim jihati shundaki, MSA va SPC bir-birini to'ldiradi. MSA o'lchash natijalariga ishonch darajasini baholaydi, SPC esa shu natijalardan foydalanib ishlab chiqarish jarayonining statistik holatini nazorat qiladi. Shu sababli o'lchash tizimi yuqori variatsiyali bo'lgan holatda jarayonning barqarorligi haqida qat'iy xulosa chiqarish xavfli bo'lishi mumkin [13].

Muhokama

Tadqiqot natijalari SPC va MSA usullarining mustaqil emas, balki o'zaro bog'liq boshqaruv vositalari ekanligini ko'rsatadi. SPC jarayonning statistik holatini baholash uchun o'lchash ma'lumotlariga tayanadi. MSA esa aynan shu ma'lumotlarning qay darajada ishonchli ekanini ko'rsatadi. Shu nuqtayi nazardan, MSAni SPCning metodik old sharti sifatida ko'rish mumkin.



Ko'rib chiqilgan ishlab chiqarish jarayonida $Cpk=1.835$ bo'lishi jarayon markazlashuvi va tolerantlikka nisbatan yaxshi joylashuvni ko'rsatadi. Shu bilan birga $\%GRR=20.47\%$ bo'lishi o'lchash tizimi variatsiyasini kamaytirish uchun amaliy imkoniyat borligini ko'rsatadi. Bu natija jarayonning texnologik variatsiyasi va o'lchash variatsiyasini bir-biridan ajratib boshqarish zarurligini asoslaydi.

MSA natijalarida AVning 3.20% darajasida bo'lishi operatorlar o'rtasidagi farqning kichik ekanligini ko'rsatadi. Demak, asosiy e'tibor operatorlarni qayta tayyorlashdan ko'ra o'lchash vositasi, o'lchash moslamasi, detalni joylashtirish va o'lchash metodikasining takrorlanuvchanligini oshirishga qaratilishi maqsadga muvofiq.

Jarayonning $\bar{X}$ va R kartalarida nazorat chegaralaridan chiqish kuzatilmaganligi jarayonning o'rganilgan vaqt oralig'ida statistik nazorat ostida bo'lganini ko'rsatadi. Biroq nazorat ostidagi jarayon avtomatik ravishda texnik jihatdan mukammal yoki iqtisodiy jihatdan optimal jarayon degani emas. Shu sababli SPC natijalari qobiliyat ko'rsatkichlari va MSA bilan birgalikda tahlil qilinishi lozim.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati avtomobilsozlik ishlab chiqarishida detal o'lchamlarini nazorat qilish jarayoniga tatbiq etilishi bilan belgilanadi. Xuddi shu yondashuv plastik detallar, metallga ishlov berish, yig'ish operatsiyalari va boshqa o'lchanadigan sifat ko'rsatkichlariga ham moslashtirilishi mumkin [14,15].

Xulosa

1. COVER ASM - STRG COL LWR detalining $4,0\pm 0,2$ mm o'lcham parametri bo'yicha 125 ta kuzatuv asosida olib borilgan SPC tahlili jarayonning kuzatilgan davrda statistik jihatdan barqaror ekanligini ko'rsatdi. $\bar{X}$ va R nazorat kartalarida nazorat chegaralaridan tashqari nuqtalar qayd etilmadi.

2. Jarayon qobiliyati $Cp=1.319$, $Cpk=1.835$ va $Pp=1.532$ qiymatlar bilan baholandi. Cpk qiymatining C_{pga} nisbatan yuqoriligi jarayonning tolerantlik maydoniga nisbatan markazlashganligini ko'rsatadi.

3. MSA natijalarida $\%EV=20.22\%$, $\%AV=3.20\%$ va $\%GRR=20.47\%$ aniqlandi. $\%GRR$ 10-30 % oralig'ida bo'lgani sababli o'lchash tizimini mazkur vazifada qo'llash mumkin, biroq takrorlanuvchanlikni yaxshilash bo'yicha choralar ko'rish tavsiya etiladi.

4. $ndc=6.74$ qiymati o'lchash tizimining jarayon variatsiyasini bir nechta mazmunli kategoriyalarga ajratish qobiliyati mavjudligini ko'rsatadi. Shu sababli MSA natijalari SPCni amalga oshirish uchun yetarli diskriminatsion imkoniyat borligini ko'rsatadi.

5. Takrorlanuvchanlikni yaxshilash uchun o'lchash vositasining texnik holatini nazorat qilish, kalibrlash va verifikatsiya jarayonlarini takomillashtirish, detalni joylashtirish moslamalarini standartlashtirish, o'lchash sharoitlarini bir xillashtirish va o'lchash yo'riqnomasini aniq belgilash tavsiya etiladi.

6. Korxonada SPCni joriy etishdan oldin yoki yangi o'lchash vositasi, yangi nazorat metodi, yangi operatorlar guruhi yoki texnologik o'zgarish kiritilganda MSAni qayta baholash maqsadga muvofiq.

7. Taklif etilgan SPC-MSA integratsiyalashgan algoritmini ISO 9001 sifat menejmenti tizimining monitoring, o'lchash, tahlil va takomillashtirish jarayonlariga integratsiya qilish mumkin. Bu yondashuv sifat bo'yicha boshqaruv qarorlarini faktlarga asoslangan holda qabul qilishga xizmat qiladi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari ishlab chiqarish jarayoni barqarorligini faqat nazorat kartalari bilan emas, balki o'lchash tizimining ishonchliligi va jarayon qobiliyati bilan kompleks baholash zarurligini ko'rsatdi. MSA, SPC, Capability, Corrective action, Re-SPC ketma-ketligi ishlab chiqarishda uzluksiz statistik sifat nazoratini tashkil etish uchun amaliy asos bo'la oladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. ISO 7870-2:2023. Control charts - Part 2: Shewhart control charts. International Organization for Standardization, Geneva, 2023.



2. ISO 22514-1:2014. Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 1: General principles and concepts. International Organization for Standardization, Geneva, 2014.
3. AIAG. Measurement Systems Analysis (MSA). 4th Edition. Automotive Industry Action Group, Southfield, Michigan, 2010.
4. ISO 22514-7:2026. Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 7: Capability of measurement processes. International Organization for Standardization, Geneva, 2026.
5. Montgomery D.C. Introduction to Statistical Quality Control. 8th ed. Wiley, 2019.
6. Wheeler D.J., Lyday R.W. Understanding Variation: The Key to Managing Chaos. SPC Press, 2000.
7. Bothe D.R. Measuring Process Capability: Techniques and Calculations for Quality and Manufacturing Engineers. McGraw-Hill, 1997.
8. Juran J.M., Godfrey A.B. Juran's Quality Handbook. 6th ed. McGraw-Hill, 2010.
9. Oakland J.S. Statistical Process Control. 7th ed. Routledge, 2016.
10. ISO 9001:2015. Quality management systems - Requirements. International Organization for Standardization, Geneva, 2015.
11. ISO 22514-3:2020. Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 3: Machine performance studies for measured data on discrete parts. International Organization for Standardization, Geneva, 2020.
12. ISO/TR 22514-9:2023. Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 9: Process capability statistics for characteristics defined by geometrical specifications. International Organization for Standardization, Geneva, 2023.
13. Pyzdek T., Keller P.A. The Six Sigma Handbook. 5th ed. McGraw-Hill Education, 2018.
14. Antony J. Design of Experiments for Engineers and Scientists. 2nd ed. Elsevier, 2014.
15. Grant E.L., Leavenworth R.S. Statistical Quality Control. 7th ed. McGraw-Hill, 1996.